

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Núcleo de Computação Eletrônica

Aline Macedo de Souza

**MOBILIDADE EM REDES WIMAX: Um estudo sobre os
Processos de Handover, Consumo de energia e Qualidade
de Serviço.**

Rio de Janeiro

2007

Aline Macedo de Souza

**MOBILIDADE EM REDES WIMAX:
Um estudo sobre os Processos de Handover, Consumo de energia e Qualidade
de Serviço**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - NCE/UFRJ.

Orientadora:

Prof^a. Luci Pirmez,
D.Sc. - COPPE/UFRJ - Brasil - 1996

Rio de Janeiro

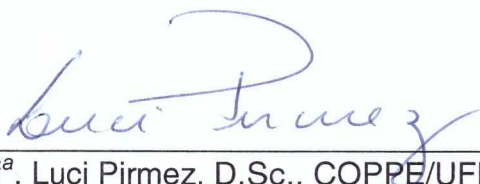
2007

Aline Macedo de Souza

**MOBILIDADE EM REDES WIMAX:
Um estudo sobre os Processos de Handover, Consumo de energia e Qualidade
de Serviço**

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - NCE/UFRJ.

Aprovada em setembro de 2007.



Prof^a. Luci Pirmez, D.Sc., COPPE/UFRJ, Brasil

Dedico este trabalho a minha família, aos meus pais Mauricio e Flaurides e aos meus irmãos, Nauber e Mauricio Jr. que sempre foram muito pacientes durante os momentos em que estive ausente para me dedicar a este trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus pela oportunidade de ter cursado e estar finalizando mais essa etapa da minha formação.

Ao NCE que materializou e viabilizou o meu sonho de realizar o curso MOT-CN, sempre me estimulando e acreditando no meu sucesso.

Aos meus familiares, por todo o sacrifício, dedicação e compreensão durante o período de estudo.

Aos amigos que conquistei durante todos esses anos, que de alguma forma marcaram a minha vida e aos que sempre estiveram ao meu lado, agradeço a todos pelo apoio.

Aos professores que, ao longo do curso, foram muito importantes tornando-se grandes referências para todo o grupo, sempre dispostos a passar todo o conhecimento, e o melhor, sempre fazendo isso com muita dedicação. Em especial, à professora Luci Pirmez, pela postura inteligente e desafiadora durante o curso e principalmente na orientação acadêmica, que despertou meu interesse pela pesquisa.

E a todos aqueles que se colocaram a disposição de ler as idéias aqui expressas e a todos aqueles que direta ou indiretamente me auxiliaram de alguma forma no meu crescimento pessoal e profissional, em especial aos professores Sergio Guedes, Fabio David e Moacyr Henrique.

A toda a equipe de coordenação e apoio ao curso MOT-CN, em especial as secretarias Laura e Patrícia que sempre se mostraram solícitas com toda a turma.

Finalmente, aos alunos da turma 2005 do curso MOT-CN, amigos que conquistei durante esse período, que sempre proporcionaram momentos de muita alegria, incentivo, senso coletivo e muita união, tornando a arte de aprender ainda mais satisfatória.

RESUMO

SOUZA, Aline Macedo de. **MOBILIDADE EM REDES WIMAX: Um estudo sobre os Processos de Handover, Consumo de energia e Qualidade de Serviço.** Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

O grande sucesso comercial da telefonia móvel, o enorme crescimento do número usuários móveis e usuários da Internet, além da popularidade das aplicações multimídia impulsionam o crescimento das redes sem fio. Nesse cenário, surge o WIMAX IEEE 802.16 e IEEE 802.16e. O WIMAX IEEE 802.16 é uma rede metropolitana em banda larga sem fio da chamada “última milha”, enquanto o padrão IEEE 802.16e tem a função de suportar mobilidade nesse ambiente. Entretanto, quando se trata de mobilidade, a criação de um mecanismo capaz de realizar a troca entre as células de acordo com a locomoção do usuário, sem que o mesmo perca sua conexão atual e perceba essa mudança introduzem o conceito de *handover* transparente (ato de migrar de uma célula à outra).

Nesse contexto, surgem diversas propostas de soluções para minimizar as perdas causadas pelos processos de *handover* [2] [14]. Em [2] é proposto um algoritmo de *fast handover*, de forma a reduzir o atraso e a taxa de perda de pacotes para tráfegos *downlink* oriundos de serviços em tempo real, oferecendo um *handover* aprimorado de *link* em camadas (*link-layer handover*). Através desse algoritmo, uma estação móvel (MS) pode receber dados do canal de *downlink* da futura estação base (BS), através de uma nova mensagem de gerenciamento proveniente dessa mesma BS durante o processo de *handover*, ou seja, após a sincronização com o novo canal de *downlink* mas antes da sincronização com o canal de *uplink*. Já em [14] é apresentada uma solução de gerenciamento que explora as soluções de perfil do comportamento do usuário em movimento para maximizar a eficiência da rede, provendo melhor QoS para diferentes tipos de usuários. Antecipar as previsões para o próximo *handover*, levando em conta o tipo de usuário, o contexto do serviço e da rede e fazer uma reserva pró-ativa de recursos para a célula escolhida se torna um requisito importante em um cenário de redes como a WIMAX.

O objetivo deste trabalho é dar continuidade a pesquisa iniciada em [14], que propõe um algoritmo que faz uso do perfil do usuário em tempo real para refinar o conjunto de células previstas para o próximo *handover*, levando em conta o tipo de usuário, o contexto do serviço e o da rede, e assim, fazer uma reserva pró-ativa de recursos na célula escolhida ao qual irá receber o usuário após o *handover*. Além de descrever os aspectos de *handover*, identificar aspectos prioritários durante a implementação de redes IEEE 802.16e e os estados críticos para a mobilidade, detalha as principais características que devem ser atendidas para a implementação de métodos mais eficientes de suporte a *handover* em redes WiMax, como os modelos de mobilidade, predição de mobilidade e métodos de economia de energia.

ABSTRACT

SOUZA, Aline Macedo de. **MOBILIDADE EM REDES WIMAX: Um estudo sobre os Processos de Handover, Consumo de energia e Qualidade de Serviço.** Monografia (Especialização em Gerência de Redes e Tecnologia Internet). Núcleo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

Lately, networks based in wireless technology have grown due to many factors, such as commercial success of the mobile telephony, the continuous grown number of mobile users and Internet users and new multimedia applications. New technologies are being developed, such as WIMAX IEEE 802.16 e IEEE 802.16e. Networks based in WIMAX IEEE 802.16 are used in broadband metropolitan areas, to solve the “last mile” problem, while IEEE standard 802.16e are used to support mobility in this environment. However, any technology that offers mobility must have a mechanism capable to deal with the change of cells while the users are in movement, without interrupting their connections. This concept is called transparent handover.

In this context, many solutions are being proposed to minimize the losses caused by the handover processes [2] [14]. In [2], the fast handover algorithm is proposed, aiming to reduce delay and packages loss of real-time downlink flows, improving the handover process in the link layer level (link-layer handover). Through this algorithm, a mobile station (MS) can receive data from the downlink channel of its future base station (BS), through a new management message sent from this BS during the handover process, just after the downlink channel synchronization, but before the uplink channel synchronization process. In [14], the solution proposed is based in a management infrastructure that anticipates where the next handover will probably take place, based on the behavior of users movement profile, allowing pro-active reserve of resources for the chosen cell. This permits the maximization use of networks resources and provision of better QoS to different users classes, becoming a very important requirement for WIMAX networks.

The objective of this work is to extend the research initiated in [14] that explores the profile of user movement behavior to maximize the network efficiency and provides better QoS for different users class, which easily integrates with WiMAX technology. An algorithm is proposed that, in real-time, makes use of the user profile to reduce the set of probable cells where the next handover will take place, taking in account the type of user, the service being used, and the network availability, allowing pro-active resources reservation in the chosen cells that will be used after the handover. This work describes the handover process in details, identifies main aspects to be observed while implementing IEEE 802.16e networks and finally details the main characteristics that must be present when implementing more efficient methods to support the handover process in WiMax networks, such as mobility models and prediction, and methods of energy consumption reduction.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PILHA DE PROTOCOLOS DO IEEE 802.16E PARA BS's [WIMAX FÓRUM]	18
FIGURA 2. DIVISÃO EM CAMADAS E PONTOS DE ACESSO (SAPs).....	21
FIGURA 3. CENÁRIO DE UMA REDE IEEE 802.16E NO MOMENTO DO HANDOVER	26
FIGURA 4. ETAPAS DO PROCEDIMENTO DE HANDOVER DA CAMADA MAC	27
FIGURA 5. TROCA DE MENSAGENS NA AQUISIÇÃO DA TOPOLOGIA DA REDE	28
FIGURA 6. ETAPAS DETALHADAS DO PROCESSO DE HANDOVER	31
FIGURA 7. PROCESSO DE REENTRADA NA REDE	31
FIGURA 8. PROCESSO DE HANDOVER MDHO	33
FIGURA 9. PROCESSO DE HANDOVER FBSS	34
FIGURA 10. SUPORTE A QoS EM REDES MÓVEIS WIMAX	38
FIGURA 11. MODELO DE MOBILIDADE RANDOM WALK	46
FIGURA 12. MODELO DE MOBILIDADE WAYPOINT	47
FIGURA 13. MODO SLEEP NO IEEE 802.16E	50
FIGURA 14. MS EM SLEEP MODE COM DUAS CLASSES DE ECONOMIA DE ENERGIA	53
FIGURA 15. MS EM SLEEP MODE COM CLASSE DE ECONOMIA DE ENERGIA TIPO 1	54
FIGURA 16. MS EM SLEEP MODE COM CLASSE DE ECONOMIA DE ENERGIA TIPO 2	55
FIGURA 17. MS EM SLEEP MODE COM CLASSE DE ECONOMIA DE ENERGIA TIPO 3	56
FIGURA 18. PROCESSO DE REENTRADA NA REDE COM IDLE MODE	58
FIGURA 19. DIAGRAMA DE SEQUÊNCIA DO FUNCIONAMENTO DO ARPRAP	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CARACTERÍSTICAS DOS PADRÕES IEEE 802.14-2004 E 802.16E	17
TABELA 2. APLICAÇÕES DE REDES MÓVEIS WIMAX E QUALIDADE DE SERVIÇO	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3G	Third generation
ARPRAP	Algoritmo de Reserva Pró-ativa de Recurso Assistida por Perfil
BE	Best Effort Service
BS	Base Station
BWA	Broadband Wireless Access
CBR	Constant-bit-rate
CID	Connection identifier
CS	Convergence sublayer
DL-MAP	Downlink Map
ErtPS	Extended Real-Time Polling Service
FBSS	Fast BS Switching
HHO	Hard Handover
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
LAN	Local Area Network
MAC	Medium Access Control
MDHO	Macro Diversity Handover
NrtPS	Non Real-Time Polling Service
OSI	Open Systems Interconnection
PDU	Protocol Description Unit
PM-bit	Poll Me bit
QoS	Quality of Service
RNG-RSP	Ranging Response
rtPS	Real-Time Polling Service
SAP	Service access point
SFID	Service flow identifier
SIP	Session Initiation Protocol
SLA	Service Level Agreement
TLV	Type Length Value
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
UGS	Unsolicited Grant Service
UGS-AD	Unsolicited Grant Service with Active Detection
UL-MAP	Uplink Map
WIMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	- RELEVÂNCIA.....	14
1.2	- ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA	15
2	PADRÃO IEEE 802.16E.....	16
2.1	- FAMÍLIA DE PROTOCOLOS IEEE 802.16	16
2.2	- SUPORTE A MOBILIDADE.....	18
2.3	- DESCRIÇÃO DA CAMADA MAC.....	20
2.3.1	- SUBCAMADA DE CONVERGÊNCIA (CS).....	21
2.3.2	- SUBCAMADA DE PARTE COMUM (CPS)	22
2.3.3	- SUBCAMADA DE PRIVACIDADE	22
3	TRABALHOS RELACIONADOS	23
4	PROCESSO DE HANDOVER.....	26
4.1	- HARD HANDOVER – HHO	27
4.1.1	- DESCOBERTA DA TOPOLOGIA DA REDE.....	27
4.1.2	- PROCESSO DE HANDOVER.....	29
4.2	- MACRO DIVERSITY HANDOVER – MDHO.....	33
4.3	- FAST BASE STATION SWITCHING – FBSS	34
4.4	- ESCOLHA DO FBSS	36
5	SUPORTE A QUALIDADE DE SERVIÇO.....	37
5.1	- CLASSES DE SERVIÇOS	39
5.2	- FLUXO DE SERVIÇO	42
6	MOBILIDADE	44
6.1	- MODELO DE MOBILIDADE	44
6.1.1	- MODELO DE MOBILIDADE ALEATÓRIA	45
6.1.2	- MODELO DE MOBILIDADE WAYPOINT.....	46
6.2	- PREDIÇÃO DE MOBILIDADE	47
7	ECONOMIA DE ENERGIA.....	49
7.1	- SLEEP MODE	49
7.1.1	- CLASSES DE ECONOMIA DE ENERGIA	51
7.1.1.1	- CLASSE DE ECONOMIA DE ENERGIA TIPO 1	53
7.1.1.2	- CLASSE DE ECONOMIA DE ENERGIA TIPO 2	54
7.1.1.3	- CLASSE DE ECONOMIA DE ENERGIA TIPO 3	55
7.1.2	- RANGING PERIÓDICO EM MODO SLEEP	56
7.1.3	- MANUTENÇÃO DE CONJUNTO ATIVO MDHO/FBSS EM MODO SLEEP	57
7.2	- IDLE MODE.....	57
8	ESTADO DA ARTE	59
8.1	- ESTRUTURAS DE DADOS USADAS PELO ARPRAP	60
8.2	- DESCRIÇÃO DO ALGORITMO ARPRAP	61
8.3	- MENSAGENS TROCADAS NO ARPRAP	64
9	CONCLUSÃO	66

10	REFERÊNCIAS.....	68
----	------------------	----

1 INTRODUÇÃO

O avanço recente das tecnologias de redes sem fio fez surgir um cenário no qual usuários acessam a *Internet* a partir de dispositivos portáteis, a qualquer hora e em qualquer lugar, tornando a computação ubíqua uma realidade. Tais usuários fazem uso da rede para executar diversos tipos de serviços e aplicações, incluindo aplicações multimídia de tempo real, que demandam altos requisitos de largura banda e de qualidade (QoS). Para atender a esses usuários, as redes sem fio devem não só prover acesso banda larga a *Internet*, mas também fornecer suporte a várias classes de serviços. Os serviços demandados podem depender de informações de contexto como localização e preferências do usuário, características do dispositivo e políticas de segurança.

Entretanto, apesar das vantagens de se utilizar redes sem fio, como o baixo custo de instalação, a facilidade de configuração e a possibilidade de mobilidade dos dispositivos, existem desafios intrínsecos que estão relacionados principalmente com o fato do meio físico de transmissão ser do tipo difusão. Para minimizar os problemas gerados por tal fato e viabilizar a interoperabilidade entre equipamentos de diversos fabricantes, surgiram padrões como os do IEEE 802.11 [7] (Redes Locais sem Fio) e do IEEE 802.16 [8].

Apesar do sucesso das redes sem fio baseadas nas tecnologias da família IEEE 802.11, estas sofrem de duas principais limitações: cobertura limitada e escalabilidade restrita [1]. Por outro lado, as redes celulares de terceira geração (3G) fornecem grande cobertura, porém com limitações na largura de banda e com altos custos de infra-estrutura. A introdução da tecnologia WIMAX, baseada no padrão IEEE 802.16, alia flexibilidade, comum nas redes sem fio, com a capacidade de realizar transmissões que atendam os requisitos das atuais aplicações multimídia, tais como maior largura de banda, restrições de atraso e atendimento de um grande número de usuários. Adicionalmente, a especificação 802.16e [5] estende o padrão 802.16, incluindo a capacidade de suportar usuários móveis, tornando o WIMAX uma poderosa solução para conectividade sem fio em regiões metropolitanas.

Em geral, uma rede metropolitana sem fio é composta por diversas células, isto é, possui diversas estações bases (BSs) conectadas entre si por um *backbone*, fornecendo conectividade para milhares de usuários, sejam fixos ou

móveis. Um usuário móvel, ao se distanciar de uma BS e ao se aproximar de uma outra BS, termina sua conexão com a BS mais distante e estabelece uma nova conexão com a BS mais próxima. A transição da estação móvel (MS) de uma BS para outra é um processo denominado *handoff* ou *handover*. Idealmente, o processo de *handover* deve (i) ser completamente transparente para os usuários móveis e (ii) garantir que os serviços multimídia não sejam interrompidos durante o processo.

O processo de *handover* pode ser classificado segundo dois aspectos principais. Do ponto de vista da camada onde o mesmo é executado, existem dois tipos de *handover*: ao nível da camada dois e da camada três. O *handover* ao nível da camada 2 ocorre quando o movimento de estações móveis se dá entre estações bases pertencentes a uma mesma sub-rede. Por outro lado, *handover* ao nível da camada 3 ocorre quando uma estação móvel pertencente a uma sub-rede se conecta a uma outra sub-rede, de forma que o endereço IP dessa estação móvel não é mais válido. Conseqüentemente, este tipo de movimento tem que ser controlado por um protocolo específico da camada 3. Já quanto à natureza das redes envolvidas, o processo de *handover* pode ser classificado em horizontal e vertical. No vertical, o *handover* ocorre entre redes heterogêneas, ou seja, redes baseadas em tecnologias sem fio diferentes (como, por exemplo, entre redes IEEE 802.16 e 802.11). Já no horizontal, o *handover* ocorre entre redes homogêneas, ou seja, de mesma tecnologia.

Com relação à garantia do fornecimento de QoS em uma rede sem fio móvel, um dos grandes desafios tecnológicos é conseguir uma utilização eficiente da rede, provendo serviços com qualidade para seus usuários, principalmente em presença de *handover*. Tais desafios são gerados a partir das próprias limitações do meio sem fio, resultando em flutuações na disponibilidade de recursos. Adicionalmente, com o surgimento de novas aplicações, cada vez mais exigentes em termos de largura de banda, é importante averiguar a influência da mobilidade dos usuários sobre a QoS em uma rede sem fio frente ao uso da técnica pró-ativa de alocação de canais na célula destino, de forma a garantir níveis de QoS compatíveis com cada aplicação.

O emprego da técnica pró-ativa de alocação de canais na célula destino é possível se o comportamento do usuário móvel em relação, por exemplo, a utilização dos serviços durante um determinado trajeto for conhecido. Tal

comportamento é definido em um perfil do usuário. Assim, graças ao conhecimento prévio do perfil de comportamento do usuário móvel, é possível acionar de forma pró-ativa o processo de geração de requisições de alocação de canal de uma célula destino, uma vez que um futuro procedimento de *handover* "conhecido" necessitará que tal processo seja efetuado. Se não houver canal disponível na célula destino para um serviço com um dado conjunto de requisitos, a ligação será terminada, o que caracteriza uma falha no *handover*. A probabilidade de ocorrência dessa falha de *handover* é um dos parâmetros que medem a QoS da rede sem fio.

Essa monografia é uma extensão do artigo [14] publicado na 25ª SBRC que apresenta uma proposta de reserva pró-ativa de recursos assistida por perfil para redes Wimax. Por se tratar de um artigo que tinha como principal finalidade apresentar a funcionalidade do algoritmo proposto e seus resultados, alguns assuntos básicos sobre o padrão IEEE 802.16e não são detalhados. Assim, esse trabalho apresenta e detalha a arquitetura do padrão, bem como os diferentes tipos de *handover* e métodos de provisão de QoS, além de destacar novos tópicos como Modelos de Mobilidade e Tipos de Economia de Energia.

Espera-se que ao final deste documento seja possível obter uma visão mais clara sobre os aspectos fundamentais para um bom aproveitamento de uma rede móvel WiMAX. Acredita-se que a partir das referências relacionadas nesse trabalho e as informações relatadas, futuras pesquisas nesse campo sejam facilitadas, bem como o desenvolvimento de novas propostas.

1.1 - RELEVÂNCIA

O objetivo do padrão IEEE 802.16e é oferecer suporte a estações assinantes móveis que deslocam-se a velocidades veiculares e criar especificações para combinar o acesso de estações fixas e móveis. Neste padrão também são especificadas funções para suporte a *handover* entre estações base ou estações móveis.

Este padrão tem por finalidade incrementar o mercado de acesso banda larga sem fio, aproveitando-se da mobilidade inerente deste tipo de dispositivos. Desta forma, surgir como uma solução que possui características distintas, como o suporte a serviços fixos e móveis, para mercados corporativos e domésticos,

com grandes áreas de cobertura e altas taxas de transmissão. Já que as redes locais sem fio IEEE 802.11 suportam altas taxas de transmissão, mas possuem coberturas limitadas e os sistemas celulares fornecem grandes coberturas, mas com limitações de largura de banda.

Diferentemente do padrão IEEE 802.16 – 2004 [6] para redes fixas, cujo o alcance máximo atinge até 100 Km e há necessidade de visada direta, o padrão IEEE 802.16e – 2005 [5] para redes móveis cobre uma área de até 30 Km, porém não necessitam de visada direta para que ocorra comunicação. Apesar dessa vantagem extremamente importante para o suporte de mobilidade, as redes móveis ainda apresentam problemas como: baixa cobertura, modelos de mobilidade, *handover* demorado, consumo de energia, número de usuários atendidos simultaneamente e qualidade de serviço (QoS) que atualmente são investigados na comunidade acadêmica.

1.2 - ORGANIZAÇÃO DA MONOGRAFIA

O trabalho está organizado da seguinte maneira: na seção 2 são descritos os conceitos básicos de redes Wimax e uma visão mais detalhada do padrão 802.16e. Na seção 3 são apresentados diversos trabalhos relacionados ao assunto da pesquisa, destacando seus principais objetivos e são apontadas as similaridades e diferenças em relação ao presente trabalho. Na seção 4 são apresentados, respectivamente, os conceitos relacionados com o processo de *handover*, detalhando seus três tipos de métodos. Na seção 5 são apontados os fatores fundamentais para prover o suporte a qualidade de serviço (QoS) do padrão 802.16, necessários para o entendimento das razões que afetam visivelmente a performance de redes móveis. Na seção 6, o destaque é o gerenciamento de redes móveis, apresentando os modelos de mobilidade mais usados. Na seção 7 são apresentados e discutidos os modos de economia de energia presentes do padrão IEEE 802.16e. Na seção 8 é apresentado o algoritmo ARPRAP sua arquitetura, características e funcionalidades. Finalmente, a seção 9 apresenta as conclusões e direções futuras do trabalho.

2 PADRÃO IEEE 802.16E

Neste capítulo serão abordados aspectos relevantes do padrão IEEE 802.16e [5] dentro do contexto no qual o trabalho está inserido. É apresentado o fundamento teórico na qual foi desenvolvida esta pesquisa, descrevendo os conceitos básicos relativos ao padrão 802.16e e os cenários atuais de redes WiMAX. O conhecimento deste capítulo é de fundamental importância para o entendimento das questões de *handover* e qualidade de serviço tratadas neste trabalho. Os principais conceitos, serviços e funções definidos no padrão serão apresentados detalhadamente.

Esse capítulo é organizado em 2 seções. A Seção 2.1 apresenta uma visão geral do padrão IEEE 802.16e. A Seção 2.2 descreve o suporte à mobilidade e finalmente na seção 2.3 a camada de acesso ao meio (Camada MAC) é descrita.

2.1 - FAMÍLIA DE PROTOCOLOS IEEE 802.16

Na primeira versão do padrão IEEE 802.16, publicada em 2001, foi especificada uma rede ponto-multiponto (PMP), operando necessariamente com enlaces de rádio com visada direta (*line-of-sight* - LOS) e empregando, entre outros, multiplexação por OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*) no espectro de 10 a 66 GHz. A taxa máxima teórica chegava a 134 Mbps e a distancia máxima a 50 km. Nesse padrão só eram permitidos nós fixos.

O padrão 802.16a, publicado em 2003, introduziu os principais procedimentos para a operação de redes *Mesh*. Nesse adendo, as redes passavam a poder operar sem visada direta (*non-line-of-sight* - NLOS) em frequências de 2 a 11 GHz. A taxa máxima teórica chegava aos 75 Mbps e a distância máxima a 10 Km [18].

No adendo 802.16-2004, homologado em 2004, encontra-se uma revisão dos adendos 802.16a, 802.16b e 802.16c. Nesse adendo são padronizados, entre outros, a provisão de acesso fixo e nomádico, em ambientes com linha de visada direta (LOS) ou sem linha de visada direta (NLOS), como também a operação em frequências licenciadas e não licenciadas.

No adendo 802.16e, aprovado em 2005, é abordado tanto acesso fixo como acesso móvel, onde se encontram especificados o suporte ao processo de

handover, modos de economia de energia e novas versões de protocolos de segurança. Um aperfeiçoamento do modo de operação *Mesh* também foi realizado nesse adendo. A taxa máxima teórica pode chegar a 15 Mbps por cada canal de 5 MHz de largura de banda [17, 18]. A Tabela 1 resume a evolução do padrão 802.16.

Tabela 1. Características dos padrões IEEE 802.14-2004 e 802.16e

Padrão	IEEE 802.16 2004	IEEE 802.16e
Taxa de transmissão	32 a 134 Mbps	Até 15 Mbps
Largura do canal	20, 25 e 28 MHz	Selecionável entre 1,25 e 20 MHz
Área de cobertura	5 – 10 Km	2 – 5 Km
Raio de célula	Típico: 5 a 8 Km; Maximo de 50Km	Típico 1,5 a 5 Km
Canal de Propagação	LOS e NLOS	LOS e NLOS
Modulação	QPSK, 16QAM e 64QAM	OFDM, QPSK, 16QAM e 64QAM
Espectro	2-11 GHz	2-6 GHz
Acesso fixo	Sim	Sim
Portabilidade	Não	Sim
Handover	Não	Sim

Este padrão tem por finalidade incrementar o mercado de acesso banda larga, aproveitando-se da mobilidade inerente dos dispositivos sem fio. Além disso, a proposta é preencher uma lacuna entre as redes locais sem fio que suportam altas taxas de transmissão e os sistemas celulares que são altamente móveis, suportando serviços fixos e móveis para mercados corporativos e domésticos.

Além de oferecer suporte a estações assinantes móveis que se deslocam a velocidades veiculares, cria especificações para combinar o acesso por estações fixas e móveis. Também são especificadas funções para suportar o processo de *handover*. Como já mencionado, o processo de *handover* ocorre quando há a transição de uma estação móvel de uma determinada BS para outra. Em outras palavras, um usuário móvel associado a uma dada BS, ao se distanciar de sua

estação base e ao se aproximar de outra BS, termina sua conexão com a BS mais distante e estabelece outra conexão com a BS mais próxima.

No contexto de redes sem fio, a mobilidade tem grande importância, pois há uma tendência à conectividade contínua e onipresente nas vidas dos usuários, que utilizam cada vez mais dispositivos móveis para manter conectividade durante sua locomoção.

O grupo de trabalho IEEE 802.16e é o responsável em criar as especificações para clientes móveis que trafeguem em velocidade de aproximadamente 150 Km/h. Abaixo são apresentados detalhes desse padrão, suas camadas e seus principais agentes.

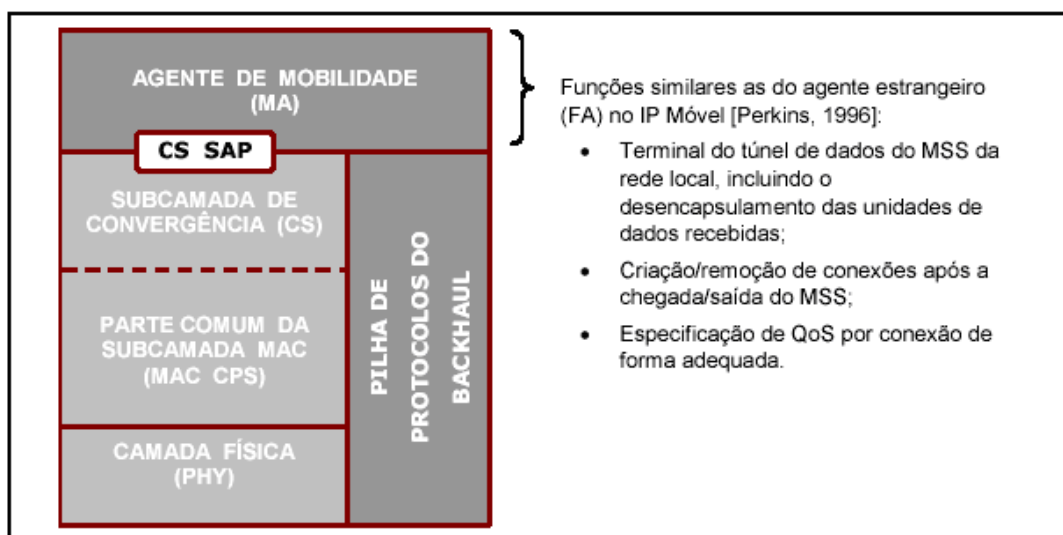


Figura 1. Pilha de protocolos do IEEE 802.16e para BS's [Wimax Fórum]

O padrão IEEE 802.16e amplia a especificação encontrada no padrão IEEE 802.16, estendendo a sua pilha de protocolos (Figura 1. Pilha de protocolos do IEEE 802.16e para BS's [Wimax Fórum]

). Para o suporte à mobilidade, foram especificadas novas funcionalidades associadas à estação base, ao processo de *handover* e a estação assinante.

2.2 - SUPORTE A MOBILIDADE

O padrão IEEE 802.16 define dois tipos de topologias: ponto-multi-ponto (PMP) e *Mesh*. No modo PMP, a estação base tem a função de coordenar e retransmitir todo o tráfego entre as estações assinantes da rede. Toda e qualquer estação assinante tem a obrigatoriedade de comunicar-se com a BS para

transmitir qualquer tipo de dado para outra SS. No modo *Mesh*, cada SS pode comunicar-se diretamente com as SS vizinhas sem qualquer coordenação com a BS. Vale ressaltar que em instalações *Mesh* típicas, têm-se ainda alguns nós que farão o papel de BS, conectando a rede *Mesh* ao *link* de *backhaul* (*Internet*, telecomunicações, etc.).

Para o suporte a mobilidade, o padrão IEEE 802.16e especificou novas funcionalidades aos elementos de rede já existentes no padrão IEEE 802.16 e adicionou novos elementos. Esses novos elementos e funcionalidades são sintetizados a seguir.

- **Estação móvel (MS)** – Uma estação móvel é uma estação assinante (SS) com intenção de ser utilizada durante o movimento ou não, em pontos não específicos, escolhidos aleatoriamente.
- **Estação Base (BS) vizinha** – Para qualquer estação móvel (MS), uma BS vizinha é aquela cujo canal de transmissão de *download* pode ser recebido pela MS.
- **Serving BS** – Para qualquer estação móvel, a *Serving BS* é aquela com que mais recentemente a MS realizou seu registro durante a entrada na rede ou durante o processo de *handover*.
- **BS Alvo** – A BS Alvo é aquela com que uma MS pretende registrar-se ao final do processo de *handover*.
- **BS Ativa** – Uma BS ativa é informada das capacidades das MS, parâmetros de segurança, fluxos de serviço e informações de contexto MAC completas.
- **Conjunto ativo** – O Conjunto ativo contém a lista das BS ativas para uma MS. O Conjunto ativo é gerenciado pela MS e pela BS, e é utilizado para o *Fast BS Switching* (FBSS) e *Macro Diversity Handover* (MDHO).
- **BS Âncora** – A BS Âncora é a BS onde as MSs estão registradas, sincronizadas e monitorando o canal de *downlink* para obter informações de controle, permitindo suporte ao processo de *handover* dos tipos FBSS e MDHO para as MSs.
- **Atribuição de frequência (FA)** – FA indica a atribuição lógica da frequência central do canal *downlink* (DL) e a largura de banda programada para a BS.

- **Handover (HO)** – Processo no qual uma MS migra de uma área coberta por uma BS para uma área coberta por outra BS. São definidas duas variantes:
 - make-before-break HO: HO no qual o serviço com a BS Alvo inicia antes da desconexão com a *Serving* BS anterior.
 - brake-before-make HO: HO no qual o serviço com a BS Alvo inicia após a desconexão com a *Serving* BS anterior.
- **Intervalo de varredura** – Período de tempo para a MS monitorar as BSs vizinhas para determinar as prováveis BS Alvo para *handover*.
- **Backbone de rede** – Infra-estrutura onde duas ou mais BSs comunicam-se entre si e pode incluir comunicação com outras redes.
- **Procedimento de power down**: Procedimento que uma MS executa quando está sendo desligada.

2.3 - DESCRIÇÃO DA CAMADA MAC

O padrão IEEE 802.16 foi desenvolvido para suportar simultaneamente tráfego de voz, dados e vídeo com garantia de QoS.

A camada física especifica o espectro de frequência, o esquema de modulação, as técnicas de correção de erros, a sincronização entre transmissor e receptor, a taxa de dados e a estrutura de multiplexação. Logo, a subcamada de acesso ao meio (MAC) especifica as funções associadas aos serviços oferecidos aos usuários que incluem a transmissão de dados em quadros e o controle do acesso ao meio sem fio compartilhado. O protocolo MAC define como e quando a estação base ou os assinantes podem iniciar a transmissão no canal.

A camada MAC é orientada a conexão. Nessa camada estão definidos a forma e o momento em que a estação base ou os assinantes podem iniciar a transmissão no canal. Na topologia PMP, esse protocolo da subcamada MAC é relativamente simples no sentido estação base para o usuário (*downlink*), pois só existe um transmissor. Já no sentido inverso, do usuário para a estação base (*uplink*), existem múltiplos assinantes competindo pelo acesso, resultando num protocolo mais complexo. A estação base centraliza o controle de todo o sistema.

A camada MAC encontra-se subdividida em três subcamadas. A subcamada de Convergência de Serviços (CS) é responsável por mapear os dados

provenientes da camada mais alta em fluxos de serviço e conexões na camada MAC. Os dados recebidos via o ponto de acesso CS (CS SAP) são classificados e depois associados a um identificador de conexões (CID) e a um identificador de fluxo de serviço (SFID) adequado. Para classificar os dados são usados critérios de comparação para cada pacote que chega, como por exemplo, endereço IP de destino. Esses critérios, em conjunto com as características do fluxo de serviço associado a este pacote ajudarão a fornecer a QoS que melhor atende seus requisitos. Caso o pacote não se encaixe em nenhum dos critérios de comparação, a subcamada CS deve descartar o mesmo [10].

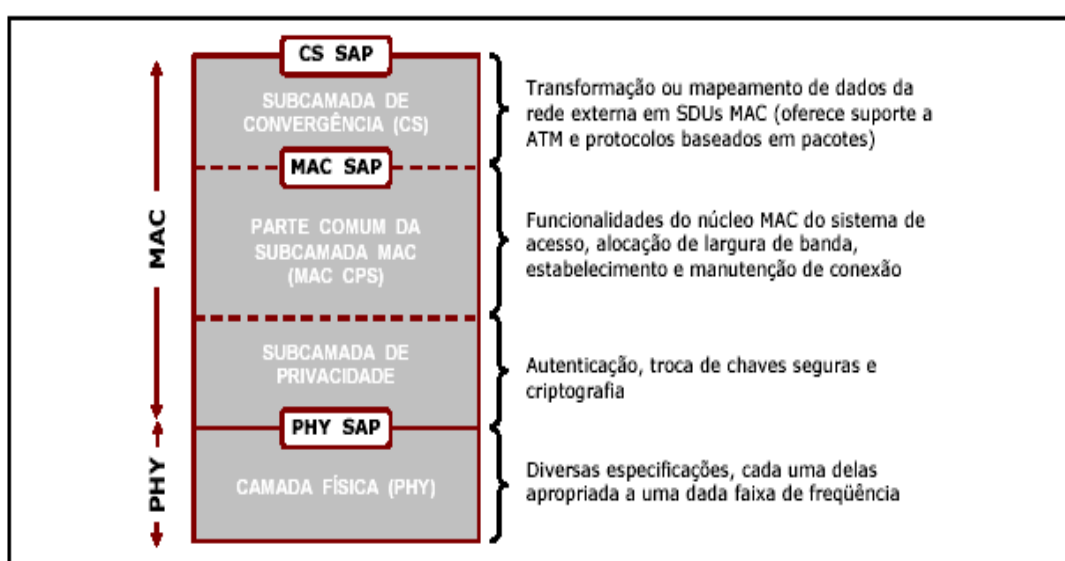


Figura 2. Divisão em camadas e pontos de acesso (SAPs)

A subcamada MAC, conforme ilustrado na Figura 2. Divisão em camadas e pontos de acesso (SAPs)

, foi subdividida em três subcamadas: (i) a subcamada Convergência de Serviços específicos (CS), (ii) a subcamada Parte Comum (CPS) e (iii) a subcamada de Privacidade (*Privacy*).

2.3.1 - SUBCAMADA DE CONVERGÊNCIA (CS)

A subcamada de Convergência de serviços específicos (CS) mapeia os dados provenientes da camada mais alta em fluxos de serviço e conexões na camada MAC. Os dados recebidos via ponto de acesso CS (CS SAP) são classificados e depois associados a um identificador de conexões (CID) e a um identificador de fluxo de serviço (SFID) adequado.

A classificação usa critérios de comparação para cada pacote que entra na rede como, por exemplo, os baseados no IP de destino e nas características de fluxo de serviço (SFID) que determinaram a QoS associada a este pacote. Caso o pacote não se encaixe em nenhum dos critérios de comparação, a subcamada CS deve descartar o pacote.

O padrão IEEE 802.16 define duas subcamadas de convergência específicas de serviço, de modo a mapear serviços de e para as conexões MAC: a subcamada de convergência ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) e a subcamada de convergência de pacotes. A subcamada de convergência ATM é definida para serviços ATM e a subcamada de convergência de pacotes é definida para mapear serviços de pacotes como IPv4, IPv6, Ethernet e *Virtual Local Area Networks* (VLANs). Em adição a essas funções básicas, ambas as subcamadas de convergência também podem realizar funções mais sofisticadas, como supressão e reconstrução de cabeçalho da carga útil, para melhorar a eficiência do *link* aéreo.

2.3.2 - SUBCAMADA DE PARTE COMUM (CPS)

A subcamada de Parte Comum fornece funções de acesso ao sistema, de alocação de largura de banda, e de estabelecimento, manutenção e término da conexão. Essa subcamada é orientada a conexão, ou seja, todos os serviços, incluindo os originalmente sem conexão (ex. tráfego IP), são mapeados para uma conexão. Para viabilizar tal função, nessa subcamada estão presentes mecanismos para requisitar largura de banda, associar parâmetros de QoS e de tráfego, e encaminhar os dados para a subcamada de convergência apropriada.

Logo, uma rede que faz uso do meio compartilhado para sua comunicação deve prover um mecanismo eficaz de controle ao meio

2.3.3 - SUBCAMADA DE PRIVACIDADE

A subcamada de Privacidade é a responsável por garantir a privacidade dos dados através de criptografia, autenticidade dos dispositivos e gerenciamentos de chaves de tráfego. A Figura acima mostra o escopo do padrão e apresenta uma abstração do plano de gerenciamento das camadas.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesse capítulo serão apresentados trabalhos relacionados referentes ao tema abordado que definem algumas características do mecanismo de *handover*.

Nos últimos anos, alguns trabalhos apresentaram propostas de processos de *handover* de forma a viabilizar a mobilidade dos dispositivos e, ao mesmo tempo, garantir a redução ou até a eliminação do atraso no tráfego e das perdas de pacote ocasionados pelo próprio processo de *handover*, resultando na não garantia da qualidade de serviço QoS nas aplicações multimídias. Os trabalhos descrevem soluções tanto na camada de enlace [11, 2] como na camada de rede [10, 1].

Em [11] é apresentada uma proposta de um algoritmo de *Fast Handover* para o padrão [5], buscando reduzir o atraso do processo de *handover*, evitar o desperdício de recursos e reduzir a redundância na execução das fases do *handover* proposto no *draft* IEEE802.16e/D8-2005. A redução do desperdício de recurso é alcançada graças ao algoritmo proposto, que avalia as BSs alvos, usando o recurso de média CINR (informação medida em dB pela MS, que pode variar de -16.0 para 47.5 e indica o atraso do sinal de *downlink* relativo a *Serving* BS) e a diferença entre o tempo de chegada do sinal, de forma a escolher apenas uma das BSs disponíveis. Já a redução do atraso do processo de *handover* é obtida graças aos processos de sincronização e associação e de transmissão de dados serem realizados simultaneamente, diferentemente do processo de *handover* proposto no *draft*, onde a transmissão e a recepção são interrompidas quando tais processos são realizados. Por fim, nesse trabalho investiga-se qual seria a distância em relação a BS Alvo candidata na qual deve ser iniciado o processo de *handoff* para um nó se movendo em uma dada velocidade.

Em [2], é proposto um algoritmo de *Fast Handover* para o *draft* IEEE 802.16e/D5-2004 [6], de forma a reduzir o atraso e a taxa de perda de pacotes para tráfegos *downlink* oriundos de serviços em tempo real. Nesse algoritmo, uma MS pode receber dados do canal de *downlink* da futura BS, através de uma nova mensagem de gerenciamento proveniente dessa mesma BS durante o processo de *handover*, ou seja, após a sincronização com o novo canal de *downlink*, mas antes que haja a sincronização com o canal *uplink*. Essa nova mensagem de gerenciamento, denominada de *Fast DL-MAP-IE* (um elemento de informação),

permite receber tráfego *downlink* durante o processo de *handover* e, por conseguinte, reduzir o atraso de transmissão de quadros *downlink*. A mensagem de *Fast DL-MAP-IE* nada mais é que um elemento de informação que foi especialmente criado para esse fim.

Uma proposta de uma arquitetura fracamente acoplada é apresentada em [10] para integrar redes heterogêneas, no caso uma rede 3G com uma 802.16, focando nos aspectos de QoS, enquanto permite a mobilidade das estações. Essa arquitetura proposta incorpora procedimentos para (i) ativar sessão de QoS, mapeando os requisitos da aplicação em parâmetros de QoS específicos para a rede em questão; (ii) mapear as classificações específicas de uma rede para outra; (iii) suportar QoS ao nível de rede usando Serviço Diferenciados (*DiffServ*); e (iv) suportar QoS ao nível de sessão, usando protocolo SIP [10], para atender serviço de tempo real, evitando o atraso devido ao roteamento triangular normalmente presente em IP móvel. A idéia não é fornecer a mesma taxa ou o mesmo atraso que são oferecidos na tecnologia de origem, mas oferecer QoS adequada na rede de destino de acordo com o perfil de QoS do usuário e requisitos da aplicação.

Em [1], foi apresentado um esquema de gerência de mobilidade hierárquica para redes WiMAX. Esse esquema é baseado na proposta do IETF do IP-Móvel e modifica a proposta original, de forma a minimizar suas desvantagens em uma rede metropolitana, oferecendo *Fast Handoff*, micro-mobilidade (mobilidade de uma estação dentro de um mesmo domínio) e *handoff* vertical.

Em [12] é apresentada uma proposta eficiente que, dinamicamente, aloca recursos para as aplicações de usuários considerados *Premium* naquelas células alvos previstas para o próximo *handoff* da rede celular, obtendo alta utilização de recursos. Usuários da categoria *Premium* são aqueles que possuem requisitos mais altos de QoS, por exemplo, maiores largura de banda, sendo tal categoria definida em um acordo de prestação de serviço (SLA). Os pontos-chave da reserva dinâmica adotados no trabalho são a utilização de um algoritmo proposto pelos autores, o PARMA, que é baseado em caminho e em predição de serviços usando tabelas estatísticas de perfil de usuários gerados e armazenados em base de dados.

Já em [14] é apresentada uma proposta que explora o perfil do comportamento do usuário em movimento para maximizar a eficiência da rede e

prover melhor QoS para diferentes classes de usuários em um cenário que permite a integração de diferentes redes sem fio de banda larga do tipo WiMAX. É proposto um algoritmo que faz uso do perfil do usuário em tempo real para (i) refinar o conjunto de células previstas para o próximo *handover*, levando em conta o perfil de comportamento do usuário como também o contexto do serviço e o da rede, (ii) fazer uma reserva pró-ativa de recurso para a célula escolhida para o próximo *handover* com os seguintes diferenciais: (a) o perfil do usuário é incrementado com o acréscimo de variáveis temporais e espaciais (por exemplo, a hora, data, localização, velocidade) e com características de recursos de um usuário móvel; (b) um novo algoritmo de reserva de canal específica para as redes WiMAX é proposto;

4 PROCESSO DE HANDOVER

Nesse capítulo são apresentados os conceitos básicos relativos ao processo de *handover* e quais os tipos de *handover* existentes atualmente no padrão IEEE 802.16e [5].

Handover é o processo que suporta a transição de uma estação móvel (MS) de uma célula para outra em uma rede sem fio. Quando o *handover* é horizontal, isto é, entre redes de mesma tecnologia esse processo ocorre na camada MAC. Espera-se que a migração das estações móveis seja feita de forma transparente, isto é, rápida e sem perdas de dados, de modo a não interromper a continuidade dos serviços e aplicações. O processo de *handover* ocorre quando: (i) uma estação móvel, ao se deslocar, percebe que o sinal proveniente da sua estação base (BS) está abaixo de um limiar aceitável devido a fatores como atenuação e interferências que prejudicam a qualidade do sinal; (ii) uma estação móvel pode ser atendida por uma BS que oferece melhor nível de qualidade de serviço (QoS).

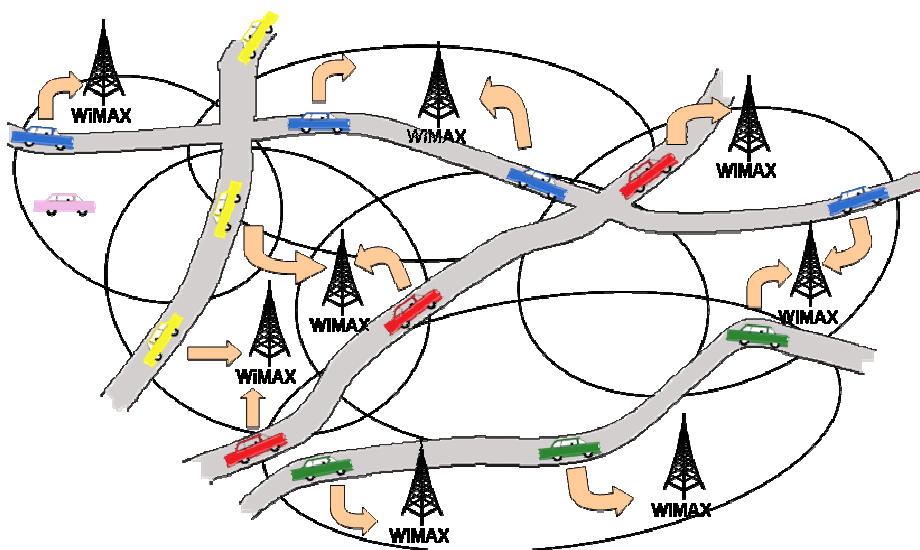


Figura 3. Cenário de uma rede IEEE 802.16e no momento do Handover

O padrão IEEE 802.16e (Mobile WiMAX) adota três tipos de *handover*: (i) *Hard Handover* (HHO), denominado nesse trabalho como *handover* tradicional; (ii) *Macro Diversity Handover* (MDHO); e (iii) *Fast Base Station Switching* (FBSS). Destes, o HHO é obrigatório enquanto que o FBSS e o MDHO são métodos opcionais. A seguir, serão detalhados os três tipos de *handover*.

4.1 - HARD HANDOVER – HHO

O procedimento de *handover* do tipo HHO do padrão IEEE 802.16e é sumarizado em [6]. O procedimento consiste de dois processos secundários; i) a aquisição da topologia da rede antes do pedido de *handover* e ii) o processo de *handover* propriamente dito, incluindo a decisão de *handover*, a iniciação, *ranging* e reentrada na rede.



Figura 4. Etapas do procedimento de Handover da camada MAC

A Figura 4 mostra as etapas do procedimento de *handover* de cada um dos dois processos do *handover* do tipo HHO, que serão detalhados a seguir.

4.1.1 - DESCOBERTA DA TOPOLOGIA DA REDE

O processo de descoberta da topologia da rede é realizado antes da iniciação do *handover* e envolve tanto a MS como a BS a qual esta conectada. Esse processo possui três etapas: Anúncio de Topologia, Procura por BSs vizinhas pelas MSs e o Procedimento de Associação. A Figura 5. Troca de mensagens na aquisição da topologia da rede

5 mostra a seqüência das trocas de mensagens para a aquisição da topologia da rede na camada MAC. Na primeira etapa, Anúncio da topologia da rede, a *Serving BS* transmite periodicamente, via *backbone* da rede, a informação

da topologia da rede, através da mensagem MOB_NBR-ADV, que inclui a informação do canal das BSs vizinhas. De posse das informações provenientes dessas mensagens, a MS pode sincronizar-se com as BSs vizinhas sem transmitir as mensagens pelos canais *downlink* e *uplink* da *Serving BS*. Na etapa seguinte, Procura por BSs vizinhas, a MS faz a varredura de suas BSs vizinhas e seleciona alguma BS como candidata para o *handover* futuro.

A BS pode alocar intervalos de tempo para que as estações móveis procurem e monitorem as BS vizinhas como possíveis alvos para o *handover*. O tempo dedicado para as MS realizarem a varredura por BS disponíveis é denominado “intervalo de varredura”. Quando uma MS necessita realizar buscas de possíveis BS Alvos com muita frequência, ela pode solicitar a alocação de grupos de intervalos de varredura intercalados por períodos de operação e, com isso, criar múltiplas oportunidades de varredura. Na mensagem de solicitação, a MS informa o tempo estimado necessário para realizar a varredura.

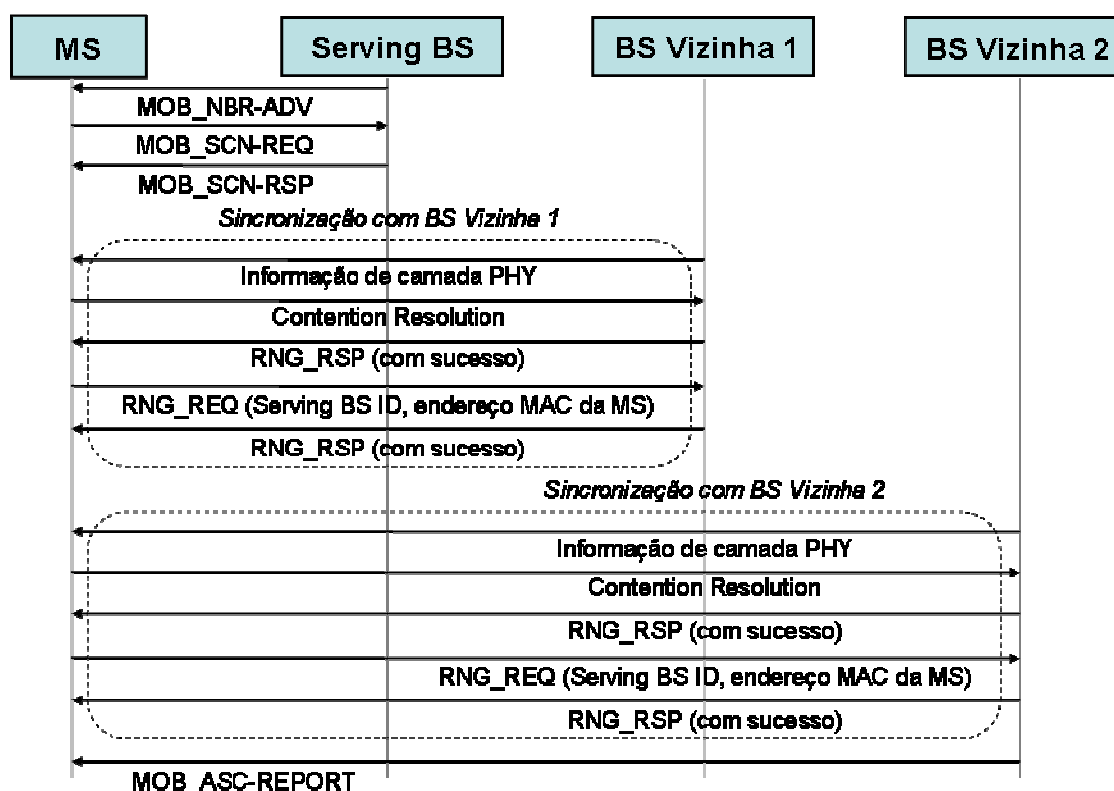


Figura 5. Troca de mensagens na aquisição da topologia da rede

No procedimento do *handover* puro, a *Serving BS* transmite periodicamente a mensagem MOB NBR-ADV em *broadcast*, contendo informações das BSs

vizinhas, de forma que a MS possa, também de forma periódica, fazer uma varredura nessas BSs vizinhas para medir a qualidade do sinal das mesmas. Uma MS, ao se afastar da *Serving* BS, constata que a qualidade dos sinais recebidos por algumas das BSs vizinhas da *Serving* BS são melhores do que a da própria *Serving* BS. Essas BSs vizinhas passam então a ser candidatas a BS Alvo para um futuro processo de *handover*. O processo de *handover* é iniciado pela MS quando essa transmite uma mensagem de pedido de *handover* a *Serving* BS. Em seguida, a *Serving* BS e as BSs vizinhas candidatas a BS Alvo trocam informações sobre a potência de sinal da MS com cada uma dessas BSs, através de mensagens que são normalmente enviadas no *backbone* da rede. Com base nas informações recebidas, a *Serving* BS seleciona a BS Alvo mais indicada. A MS, ao receber a mensagem de resposta ao pedido de *handover* da *Serving* BS, libera a conexão com a *Serving* BS, estabelece uma nova conexão com a BS Alvo indicada pela *Serving* BS e conduz o processo de reentrada na rede controlada pela BS Alvo. Após o processo de re-associação nessa rede, a MS pode transmitir ou receber mensagens da "nova" BS.

As mensagens do tipo MOB_SCN-REQ / RSP permitem que a MS possa realizar a sincronização com o canal *downlink* de cada BS vizinha. Também, a disputa ou não-disputa baseada em *ranging* é conduzida para ter características mais exatas da camada física. Os dados recebidos pela MS, durante o processo de varredura, são guardados na *Serving* BS. A última etapa da aquisição da topologia da rede é a associação entre a MS e a candidata a BS Alvo. Opcionalmente, o processo inicial de *ranging* pode ser executado durante o procedimento de varredura. A MS mantém valores iniciais de *ranging* das BSs para uso em um *handover* futuro.

4.1.2 - PROCESSO DE HANDOVER

O processo de *handover* do tipo HHO consiste de seis etapas de *handover*: Re-seleção de células (detecção de *handover*), Decisão e iniciação, Sincronização com o canal *downlink* da BS Alvo, Ranging, Término da conexão com *Serving* BS e Cancelamento do *handover*. Cada uma dessas etapas é detalhada em seguida.

- **Re-seleção de células** - MS realiza uma varredura e/ou associação com uma ou mais BSs com o objetivo de escolher uma BS Alvo, segundo alguns requisitos como a qualidade do sinal e/ou a do serviço (QoS).
- **Decisão e iniciação do *handover*** - MS deve migrar de uma *Serving* BS (BS na qual a MS está atualmente conectada) para uma BS Alvo, sendo que tal decisão pode ser originada na estação móvel ou na *Serving* BS.
- **Sincronização com o canal *downlink* da BS Alvo** - obtenção dos parâmetros de *uplink* e *downlink*.
- ***Ranging*** - etapa onde são realizadas negociações de capacidades, autenticação, re-autorização, re-registro da estação MS com a nova BS.
- **Término do Contexto da MS** – *Serving* BS é responsável por liberar as conexões da MS e por terminar o contexto associado a MS (informações nas filas, contadores, temporizadores, informações de supressão de cabeçalho).
- **Cancelamento do *handover*** – MS é responsável pelo cancelamento do *handover*.

O processo de *handover* do tipo HHO é executado quando a MS se move da *Serving* BS para a BS Alvo. No início, a MS é responsável pela re-seleção da célula usando a informação da topologia da rede obtida do processo de aquisição da topologia da rede anterior. Esta etapa pode ser abreviada, uma vez que inclui as mesmas operações que o processo de aquisição da topologia da rede. Em seguida, são feitos a decisão do *handover* e o processo de iniciação. A MS e a *Serving* BS podem executar a decisão e a iniciação do *handover* usando a mensagem MOB_MSHO-REQ / MOB_BSHO-REQ. Entretanto, nesse trabalho será fornecido o procedimento do *handover* iniciado na MS. O processo detalhado do *handover* é mostrado na Figura 66. A *Serving* BS notifica o pedido do *handover* as BSs vizinhas emitindo a mensagem HO *notification* e responde a MS emitindo a mensagem MOB_HO-RSP. Após ter recebido a resposta da *Serving* BS, a MS escolhe a BS Alvo para o *handover* e transmite a mensagem MOB_HO-IND a *Serving* BS para que o *handover* de fato possa ser iniciado.

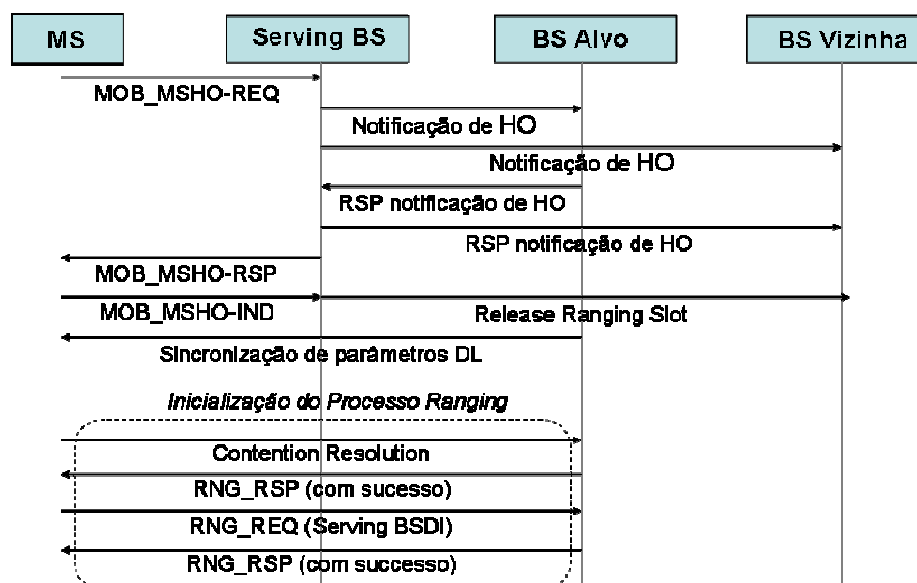


Figura 6. Etapas detalhadas do processo de handover

Após a iniciação do *handover*, é iniciado o processo de *ranging* e segue a operação baseada em disputa ou a não-disputa. Em ambos os casos, a MS deve estar sincronizada no canal *downlink* com a BS Alvo e obter parâmetros de *downlink* e *uplink* via mensagens DCD/UCD, quando então as mensagens RNG_REQ/RSP são trocadas para terminar o processo de *ranging*. Se RNG_REQ contiver o BSID da *Serving* BS, a BS Alvo pode obter a informação da MS da *Serving* BS através do *backbone* da rede. Caso a MS já esteja associada a uma BS Alvo no estágio anterior, esse processo pode ser abreviado.

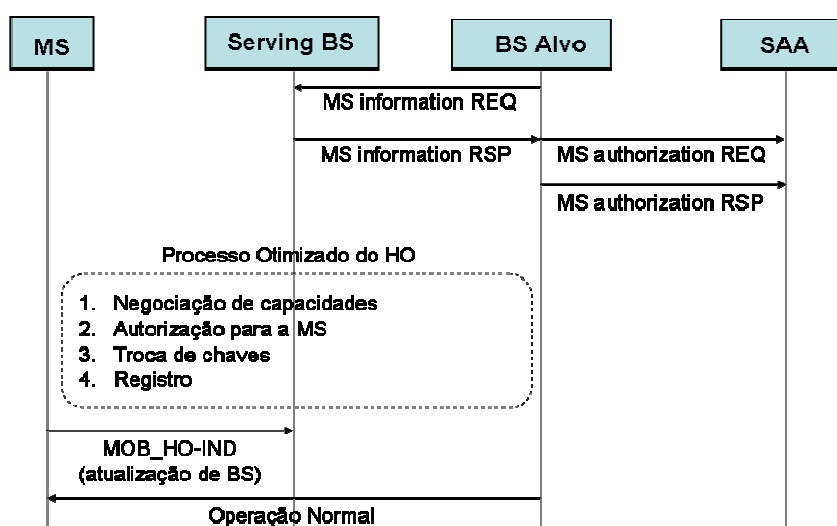


Figura 7. Processo de reentrada na rede

Após a etapa inicial de *ranging* ser realizada com sucesso, isto é, todos os parâmetros físicos serem ajustados corretamente, a etapa de reentrada na rede é

iniciada conforme mostrado na Figura 77. Esta etapa inclui a autorização da MS e o registro da nova BS. A BS Alvo pede informações de autorização da MS ao servidor de autorização através do *backbone* da rede. Após a autorização ser concedida, o registro da MS na nova BS é executado através da troca de mensagens REG-REQ / RSP. A negociação da capacidade, autorização da MS e mudança de chave e registro podem ser abreviados, dependendo do nível da associação usado após o registro bem sucedido da MS na BS Alvo. A MS emite uma mensagem MOB_HO-IND à *Serving* BS para notificar que o *handover* foi terminado.

Durante o processo do *handover* do tipo HHO, a estação móvel não é capaz de transmitir ou receber dados e, portanto, estes dados podem chegar ao seu destino atrasados. Em consequência, pacotes pertencentes a aplicações sensíveis ao atraso, tais como voz sobre IP (VoIP) ou *video streaming service*, podem ser entregues normalmente com atrasos de 20 a 25ms. Se o atraso for maior que esses valores, pacotes serão rejeitados e a probabilidade de perda do pacote aumentada. Em suma, dependendo do tipo de aplicação, os pacotes recebidos com atraso são descartados e, conseqüentemente, o processo de *handover* aumenta a probabilidade de perda de pacotes.

O *handover* tradicional HHO é obrigatório, enquanto que o FBSS e o MDHO são métodos opcionais. O processo de *handover* do método HHO consiste na execução de várias etapas. É possível observar claramente que, durante o processo de *handover*, pode ocorrer perda de dados, pois a MS não pode ser contactada nesse período até que sua conexão seja restabelecida completamente. Logo, restabelecer a conexão no menor tempo possível é o grande desafio da mobilidade. Assim, é necessário que a detecção do início de *handover* seja feita antes da perda da conexão. Portanto, achar o ponto certo para iniciar o *handover* é um grande desafio.

Está claro que o tempo gasto pelo mecanismo de suporte ao processo de *handover*, para a manutenção da conexão das MSs, pode ser visto como um dos principais fatores que afetam a qualidade de serviço oferecido aos usuários. Diversas técnicas foram desenvolvidas para otimizar o HHO dentro da estrutura do padrão 802.16e. Estas melhorias foram desenvolvidas com o objetivo de manter o *handover* da camada 2 com tempos inferiores a 50 milissegundos. As

melhorias no processo de *handover* podem ser vistas nos *handovers* do tipo MDHO e FBBS.

4.2 - MACRO DIVERSITY HANDOVER – MDHO

O conjunto de estações bases (BSs) envolvidas em um *handover* do tipo MDHO com uma estação móvel (MS) é denominado de conjunto de vizinhas (conjunto *Diversity*). Dentre as BSs do conjunto de vizinhas, uma é selecionada para ser a BS Âncora. A BS Âncora é a BS na qual a MS pretende se registrar ao final de um processo de *handover*. Na verdade, ela é a BS que deixa de ser “Alvo” para se tornar Âncora. Um caso particular é quando esse conjunto é formado por uma única BS e, portanto, essa mesma BS também será a BS Alvo e Âncora.

O processo de tomada de decisão no *handover* do tipo MDHO é realizado pela MS quando uma MS decide transmitir/receber mensagens e tráfego *unicast* para/de todas as BSs integrantes do conjunto *Diversity* no mesmo intervalo de tempo.

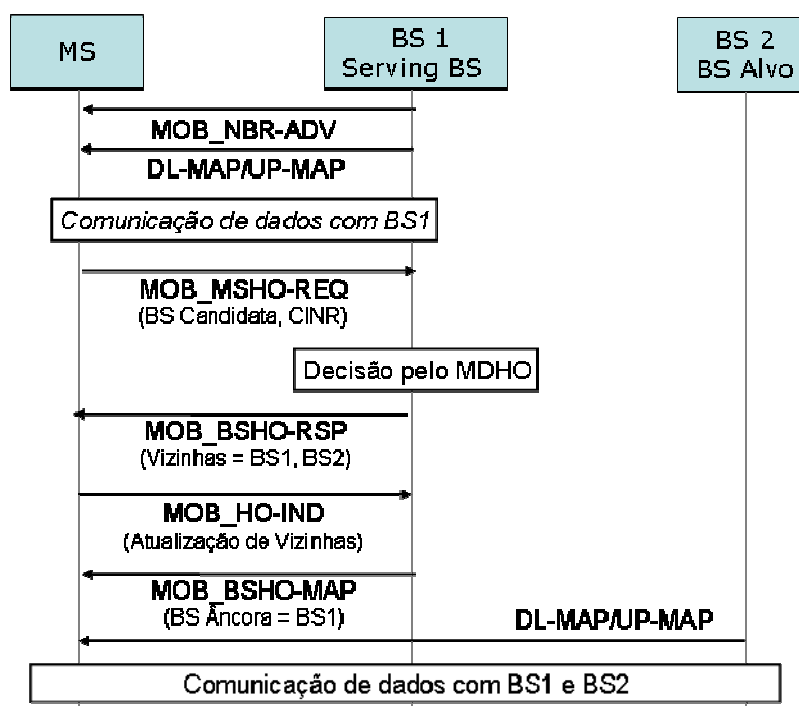


Figura 8. Processo de Handover MDHO

O canal *downlink*, quando utiliza o método MDHO, funciona com duas ou mais BSs fornecendo a transmissão sincronizada de diferentes tipos de aplicações que estão sendo executados na MS. Para o canal *uplink* MDHO, a transmissão de

uma MS é detectada perto do conjunto de BSs Vizinhas onde a informação recebida é executada.

4.3 - FAST BASE STATION SWITCHING – FBSS

O processo de tomada de decisão no *handover* do tipo FBSS é realizado na BS. No *handover* do tipo FBSS, a MS monitora continuamente as BSs de seu conjunto de vizinhas e uma delas é selecionada para ser a BS Alvo. Após ser efetuada a seleção da BS Alvo, a MS comunica-se somente com a BS Alvo, agora então, Âncora para o envio/recepção de mensagens de *uplink* e *downlink*, incluindo conexões de tráfego e de gerência. A transição de uma BS Âncora para outra (isto é, migração de BSs) ocorre sem a invocação de mensagens explícitas de *handover*, isto é, são eliminadas etapas do processo de *handover* do tipo HHO.

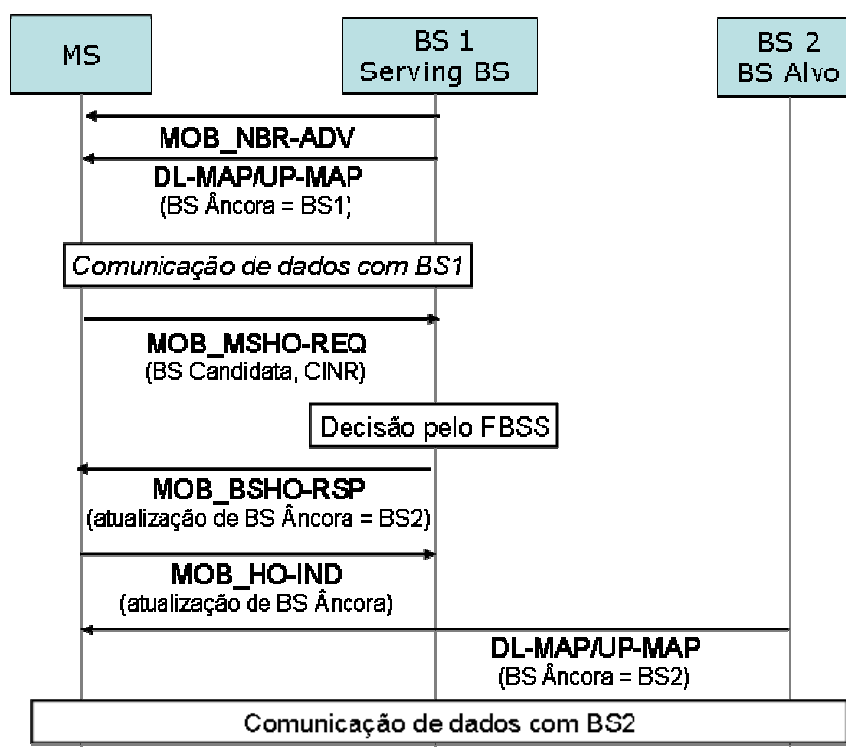


Figura 9. Processo de Handover FBSS

Nesse *handover*, existem dois mecanismos para que a MS e a BS executem a troca de BSs Âncora. O primeiro mecanismo usa mensagens de *handover* (HO) e no segundo a MS e a BS usam o canal de retorno rápido (*fast-feedback*) para atualizar a lista do conjunto de vizinhas. Nos dois mecanismos, a BS Âncora escolhida deve pertencer à lista do conjunto de vizinhas (*Diversity*).

No primeiro mecanismo, que usa mensagens de *handover*, é possível escolher uma das duas alternativas descritas a seguir. Na primeira alternativa, a MS reporta suas informações à nova BS Âncora através da mensagem MOB_MSHO-REQ. Na segunda, a antiga BS Âncora é quem informa à MS da mudança de BSs âncora através da mensagem MOB_BSHO-REQ ou da MOB_BSHO-RSP, passando o tempo estimado para a troca. A MS pode aceitar ou rejeitar a troca de BSs âncora através da mensagem MOB_HO-IND (campo MDHOFBSS_IND_type).

No segundo, mecanismo de seleção de BS Âncora com retorno rápido (Fast Anchor BS selection feedback - FBSS), a MS e a BS usam o canal de retorno rápido (*fast-feedback*) para atualizar a lista do conjunto *Diversity*. Caso a MS necessite enviar uma informação de seleção de BS Âncora, também é encaminhado o identificador temporário (TEMP_BSID), identificador que todas as BS recebem ao entrar na lista do conjunto *Diversity*. O canal de retorno rápido deve ser estabelecido usando um dos seguintes métodos:

- pré-estabelecido através da mensagem MOB_BSHO-RSP ou da MOB_BSHO-REQ, quando a BS é adicionada a lista do conjunto *Diversity*;
- via o elemento de informação do tipo Anchor_Switch_IE durante a operação de troca de BSs Âncoras;
- via o mapa *uplink* (UL-MAP) da nova BS Âncora, após o término da operação de troca de BS Âncoras.

Para que o *handover* do tipo FBSS possa ser realizado entre a MS e um grupo de BSs, é necessário que ocorram as condições descritas a seguir:

- as BSs envolvidas nesse tipo de *handover* estejam sincronizadas;
- os quadros enviados pelas BSs cheguem na MS dentro de um intervalo de tempo pré-definido;
- os quadros das BSs envolvidas nesse tipo de *handover* estejam sincronizados;
- BSs envolvidas nesse tipo de *handover* operem na mesma frequência;
- BSs envolvidas nesse tipo de *handover* sejam obrigadas a compartilhar ou transferir o contexto MAC. Este contexto inclui toda informação que uma BS e uma MS trocam durante o processo de entrada na rede (*Network Entry*)

particularmente o estado de autenticação, de forma a aproveitar esta informação em outras BSs do mesmo Conjunto de vizinhas. O contexto inclui também Fluxos de Serviços, o mapeamento correspondente de conexões associadas à MS e chaves de autenticação e criptografia atuais associadas com as conexões.

4.4 - ESCOLHA DO FBSS

Analizando as formas de *handover* do IEEE 802.16e, observou-se que o processo de HHO não é capaz de responder com eficiência aos requisitos de QoS necessários para as conexões dos clientes móveis. O processo de tomada de decisão no *handover* MDHO é realizado pela MS, enquanto no FBSS é realizado pela BS. Assim, o MDHO é iniciado quando uma MS decide transmitir/receber mensagens para/de todas as BSs do conjunto de vizinhas no mesmo intervalo de tempo. Já no *handover* FBSS, a MS se comunica somente com a BS Âncora para o envio/recepção de mensagens de *uplink* e *downlink*. A transição de uma BS Âncora para outra ocorre sem a invocação de mensagens explícitas de *handover*, isto é, são eliminadas as etapas do processo de *handover* do tipo tradicional. Os fatores que contribuíram para esta escolha foram os seguintes:

- ter uma lista de BSs candidatas (Conjunto de Vizinhas) ao *handover*;
- negociar somente com uma BS (BS Âncora);
- coordenação e influência nas decisões de *handover* mais centralizadas na BS;
- primar pela mudança entre BSs suave e rápida, evitando vários passos do *handover* tradicional;
- compartilhar informações de fluxo, de autenticação, de entrada de rede previamente com as BSs envolvidas.

As BSs listadas no conjunto de vizinhas recebem as necessidades da MS antes de iniciar o processo de *handover*. Um exemplo de melhora do *handover* do tipo *fast* é reduzir a lista das BSs vizinhas. O FBSS compartilha o contexto MAC com as BSs do conjunto de vizinhas. O contexto inclui todas as informações trocadas entre MS e BS durante a entrada na rede, fluxos de serviço e mapeamentos de conexões associados a MS.

5 SUPORTE A QUALIDADE DE SERVIÇO

Como podemos observar, o processo normal de *handover* afeta a qualidade de serviço, podendo gerar atraso na troca de mensagens ao escolher a BS Âncora, gerar fluxos de mensagens desnecessários e nem sempre escolhe a melhor opção para *handover*. Os padrões IEEE 802.11k, 802.16e e 802.21 buscam realizar transições transparentes, otimizar o número de transmissões de sinalização de *handover* e garantir QoS para as conexões do usuário já estabelecidas. A primeira fase de transição transparente é a descoberta e seleção da estação base (BS) com o melhor recurso disponível para a estação móvel (MS), que analisa as informações recebidas e seleciona a estação base (BS) para a próxima conexão, durante essa fase ou no momento da reassociação também ocorrem as associações de segurança e finalmente, o pré-cálculo da alocação dos recursos de QoS. Apesar desses elementos críticos, existem algumas formas que podem otimizar esse processo. Uma delas é aceleração do processo de reserva de banda, que já acontece no padrão 802.16.

A qualidade de serviço é sempre negociada por conexão. O mecanismo mais importante de fornecimento de QoS em redes sem fio está associado à transferência de quadros da subcamada MAC através de um fluxo de serviço. Um fluxo de serviço, identificado unicamente por um identificador de fluxo de serviço (SFID - *Service Flow Identifier*), é um fluxo unidirecional de quadros que está caracterizado por um conjunto de parâmetros de QoS definidos para o fluxo, tais como: latência, retardo e garantias de vazão. Graças a esses parâmetros de QoS, é possível especificar a ordem de transmissão e o escalonamento dos fluxos de serviço na rede sem fio. Um fluxo de serviço, por sua vez, está associado a uma única conexão. Uma conexão é identificada de forma única por um identificador de conexão (CID - *Connection Identifier*).

Com *links* de alta performance, capacidade assimétrica de canais *downlink/uplink*, fino recurso de granularidade e o mecanismo flexível de alocação de recurso, o WiMAX móvel torna-se uma opção que pode suprir as exigências de QoS das redes atuais com grande fluxo de serviços multimídia e de aplicações de dados. Na camada MAC do WiMAX móvel, o QoS é fornecido através dos fluxos do serviço como ilustrado na Figura 10.

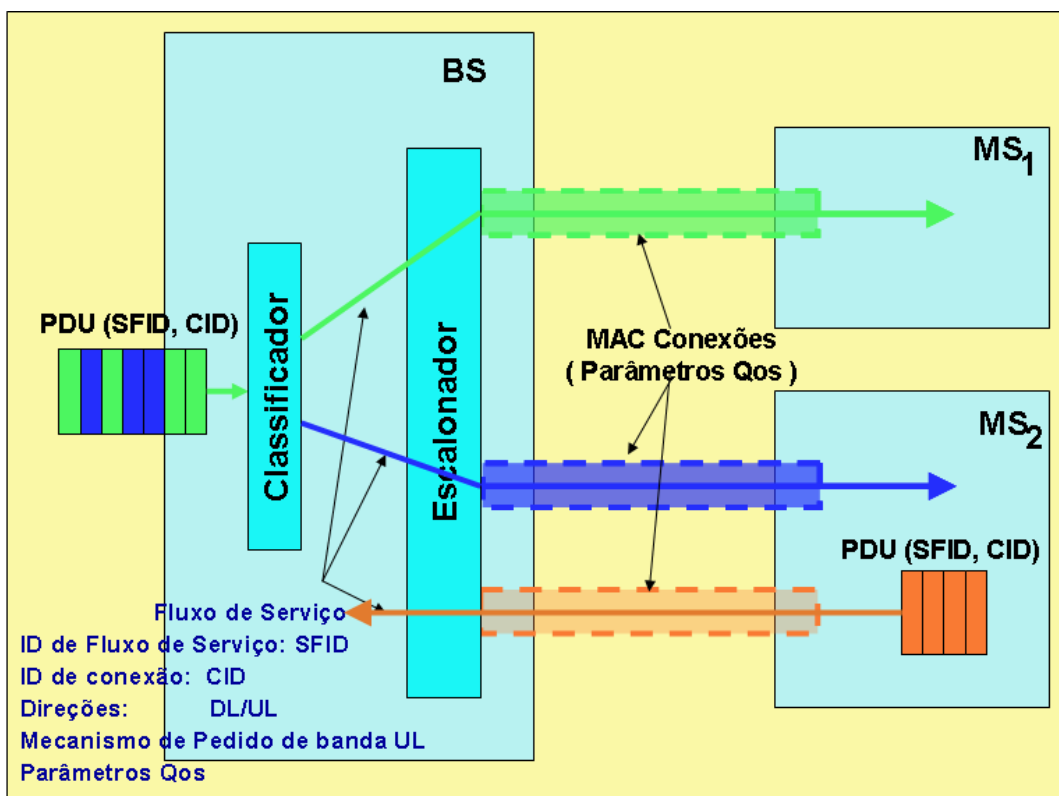


Figura 10. Suporte a QoS em Redes Móveis WiMAX

Em outras palavras, estes fluxos de serviços são na verdade pacotes unidirecionais que fornecem parâmetros de QoS para atender suas particularidades. Antes de fornecer algum tipo de serviço de dados, a estação base (BS) e a estação móvel (MS) estabelecem primeiramente um *link* lógico unidirecional entre pontos MACs envolvidos na conexão. O *outbound* MAC então associa os pacotes que passam da interface MAC em um fluxo de serviço para ser entregue durante a conexão. Os parâmetros de QoS associados com o fluxo de serviço definem a transmissão que será requisitada e assim a banda para atender esses requisitos. Portanto, com a utilização de QoS orientado a conexão, torna-se possível fornecer o controle exato sobre o tráfego do *link* aéreo, principal gargalo de saída da rede e, desta forma, o controle eficaz das conexões fim a fim.

Tabela 2. Aplicações de Redes Móveis WiMAX e Qualidade de Serviço

Categoria QoS	Aplicações	Especificações
UGS (Unsolicited Grant Service)	VoIP	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa máxima, • Latência máxima • Tolerância a Jitter
rtPS (real-time Polling Service)	Streaming Audio ou Video	<ul style="list-style-type: none"> • Prioridade de Tráfego • Taxa mínima • Latência máxima
ErtPS (Extended real-time Polling Service)	Voz com detecção de uso (VoIP com DTX)	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa máxima • Latência máxima • Tolerância a Jitter • Prioridade de Tráfego
nrtPS (non real-time Polling Service)	Protocolo de Transferência de Arquivo (FTP)	<ul style="list-style-type: none"> • Taxa mínima garantida • Prioridade de Tráfego
BE (Best Effort)	Transferência de dados, Navegação Web	<ul style="list-style-type: none"> • Prioridade de Tráfego, • Taxa máxima

Os parâmetros do fluxo de serviço podem ser dinamicamente gerenciados através das mensagens MAC para que, dessa forma, possa acomodar o serviço sob demanda de forma dinâmica. O fluxo de serviço baseado em QoS é um mecanismo que pode ser aplicado em ambas as direções *downlink* e *uplink* para prover QoS melhorando a performance da conexão em ambos os sentidos. WiMAX móvel suporta uma larga escala de serviços de dados e aplicações com exigências variadas de QoS. Estes mecanismos são apresentados na Tabela 2.

5.1 - CLASSES DE SERVIÇOS

O padrão IEEE 802.16 define quatro classes de serviço as quais devem ser tratadas de forma diferenciada pelo mecanismo de escalonamento da camada MAC. As classes de serviço do padrão IEEE 802.16 são: *Unsolicited Grant Service* (UGS), *Real-Time Polling Service* (rtPS), *Non Real-Time Polling Service* (nrtPS) e *Best Effort* (BE). Além das categorias existentes no padrão IEEE 802.16 – 2004 [6] foi especificado no padrão IEEE 802.16e um novo mecanismo chamado Extended rtPS (ertPS), fundamentado na eficiência do UGS e rtPS. A estação base (BS) pode conceder banda não solicitada como no UGS, porém o tamanho da banda alocada é variável. As classes de serviços são descritas com mais detalhes em seguida.

- **Unsolicited Grant Service** – Projetada para oferecer suporte aos fluxos de serviço em tempo real que geram pacotes de dados de tamanho fixo em intervalos periódicos. Essa categoria de serviço pode ser representada pelo tráfego gerado por emulação T1/E1 e por aplicações de voz sobre IP sem supressão de silêncio. O serviço oferece periodicamente concessões *não solicitadas* para a transmissão dos dados, eliminando a sobrecarga e a latência ocasionada pelas requisições de banda *unicast* das estações móveis (MS) para enviar pedidos de transmissão. No UGS, a MS é proibida de usar qualquer requisição de contenção e a estação base (BS) não oferece qualquer oportunidade de requisição unidirecional para a MS. Requisições de *piggyback* não são permitidas no UGS. Os principais parâmetros para essa categoria são: *Maximum Sustained Rate*, *Maximum Latency Tolerance* e *Jitter Tolerance*.
- **Real-Time Polling Service** – Essa categoria oferece suporte aos fluxos de serviço de tempo real que geram pacotes de dados de tamanho variável em intervalos periódicos, como por exemplo, transmissões de vídeo sob demanda ou transmissões de pacotes VOIP (voz sobre IP) com supressão de silêncio. Periodicamente são oferecidas diversas oportunidades de requisição unidirecional, que vão ao encontro das necessidades da conexão em tempo real (largura de banda) e permitem que a MS especifique qual será o tamanho da concessão desejada. A MS não tem permissão de utilizar qualquer método de requisição de contenção ou de *piggyback*. Os principais parâmetros para essa categoria são: *Minimum Reserved Rate*, *Maximum Sustained Rate*, *Maximum Latency Tolerance* e *Traffic Priority*.
- **Non Real-Time Polling Service** – A categoria nrtPS oferece suporte aos fluxos de serviço de tempo não real que geram pacotes de tamanho variável em intervalos periódicos, como, por exemplo, o tráfego gerado por aplicações FTP, e-mail, SMS, *multicast/broadcast*, MMS, entre outros. O serviço oferece periodicamente oportunidades de requisição *unicast* (*polls*). Uma oportunidade de requisição *unicast* é um intervalo do canal de *upstream* no qual somente uma SS específica pode enviar uma requisição de largura

de banda para a BS. Esse processo difere de requisição de contenção no qual muitas SSs disputam entre si para transmitir suas requisições de banda. As alocações de banda serão fornecidas em intervalos maiores que os na categoria rtPS. Nessa categoria é permitido que sejam fornecidas às SS oportunidades de requisição mesmo durante períodos em que a rede esteja congestionada. Além disso, cada SS pode utilizar oportunidades de requisição de contenção e de *piggyback*. Os principais parâmetros para essa categoria são: (*Nominal Polling Interval*), (*Minimum Reserved Traffic Rate*), (*Maximum Sustained Rate*) e (*Traffic Priority*)

- **Best Effort** – Na categoria BE, a MS pode utilizar requisições de contenção e de *piggyback*, que são periódicas, entretanto, não pode fazer uso de requisições *unicast*. Além disso, o serviço também oferece concessões não solicitadas para a transmissão de dados periódicos, cujo intervalo depende da banda que não estão sendo usadas pelos outros serviços mais prioritários. O serviço de melhor esforço é tipicamente oferecido para tráfegos de serviços Web, navegação pela Internet. É importante mencionar que para as categorias nrtPS e BE, o padrão especifica que a BS deve usar o parâmetro prioridade de tráfego para determinar a precedência na requisição do serviço e na geração da concessão para a transmissão de dados. Em suma, a BS deve oferecer preferencialmente oportunidades de requisição de contenção baseadas em prioridade. Os principais parâmetros para essa categoria de serviço são: *Maximum Sustained Rate* e *Traffic Priority*.
- **Extended Real-Time Polling Service** - O objetivo deste mecanismo é suportar serviços em tempo real que utilizem pacotes de tamanho variável, tais como serviços de voz sobre IP com supressão de silêncio. A BS pode prover alocações periódicas do canal de *uplink* que poderão ser utilizados para solicitação de banda ou transmissão de dados. Por padrão, o tamanho das alocações corresponde ao valor do parâmetro *Maximum Sustained Traffic Rate* utilizado na conexão. A BS não pode alterar o espaço do canal *uplink* alocado até receber um pedido de mudança do tamanho de banda realizada por uma estação móvel. Esse pedido pode ser feito através de uma

requisição *piggyback* ou utilizando um campo de sinalização do cabeçalho MAC. Se não houver banda *unicast* alocada para a MS, ela pode utilizar contenção para informar a BS que existem dados para serem enviados. Os principais parâmetros para essa categoria de serviço são: *Maximum Sustained Rate*, *Minimum Reserved Rate*, *Maximum Latency Tolerance*, *Jitter Tolerance* e *Traffic Priority*.

5.2 - FLUXO DE SERVIÇO

Um fluxo de serviço é caracterizado por um conjunto de parâmetros de QoS tais como latência, retardo e garantias de vazão. Assim, após a MS ter efetuado seu registro, conexões são associadas a fluxos de serviço (uma conexão por fluxo de serviço) provendo referência para a requisição de banda. Adicionalmente, serviços do cliente podem necessitar modificar conexões já estabelecidas. O Fluxo de serviço define os parâmetros QoS para as PDUs que são transmitidas na conexão.

O conceito de fluxo de serviço permite que haja um mecanismo para gerenciamento de QoS *downlink* e *uplink*, e é fundamental para o processo de alocação de banda. Uma MS solicita banda *uplink* por conexão (identificando implicitamente o fluxo de serviço), já a banda concedida pela BS para uma MS é um conjunto de concessões em resposta às solicitações por conexão feitas pela MS.

Os fluxos de serviço são caracterizados parcialmente pelos atributos descritos em seguida:

- **Identificador do Fluxo de Serviço (SFID)** – Um SFID identifica um único fluxo de serviço. O SFID serve como o principal identificador na MS e na BS para o fluxo. Um fluxo de serviço tem no mínimo um SFID e uma direção associada.
- **Identificador da Conexão (CID)** – Uma conexão é associada a um fluxo de serviço, o CID identifica o mapeamento para um SFID que somente é realizado quando a conexão tem seu(s) fluxo(s) de serviço admitido(s).

AdmittedQoSParamSet, ActiveQoSParamSet e AdmittedQoSParamSet –

Esses atributos são preenchidos de acordo com o tipo que o fluxo de serviço irá assumir, os quais podem ser: Provisionado, Admitido e Ativo. A descrição desses atributos, para cada um dos tipos é dada a seguir.

1- *Provisionado* – Caracterizado por um conjunto de parâmetros de QoS fornecido por mecanismos externos aos definidos no padrão 802.16, como, por exemplo, pelo sistema e gerenciamento de rede. Os conjuntos de parâmetros *AdmittedQoSParamSet* e *ActiveQoSParamSet* para esse tipo de fluxo são ambos nulos.

2- *Admitido* – Define um conjunto de parâmetros de QoS para a BS utilizar, garantindo reserva da largura de banda e memória para viabilizar a ativação do fluxo. Esse tipo de fluxo de serviço possui recursos reservados pela BS para o seu conjunto de parâmetros *AdmittedQoSParamSet*, mas esses parâmetros não estão ativos (o *ActiveQoSParamSet* é nulo). Os fluxos de serviço admitidos podem ter sido provisionados ou sinalizados por algum outro mecanismo.

3- *Ativo* – Especifica um conjunto de parâmetros de QoS que define o serviço sendo atualmente provido para o fluxo de serviço. Somente um fluxo de serviço ativo pode encaminhar pacotes. Nesse tipo de fluxo de serviço, os recursos estão comprometidos pela BS para o seu conjunto de parâmetros *ActiveQoSParamSet*. Por exemplo, a estação base pode estar enviando mapas contendo concessões não solicitadas para a transmissão de um fluxo de serviço UGS (*Unsolicited Grant Service*). O conjunto de parâmetros *ActiveQoSParamSet* desse fluxo não é nulo.

6 MOBILIDADE

A mobilidade introduz problemas e desafios, que eram inexistentes em ambientes fixos. Há toda uma mudança de visão e pensamento que devem ser considerados. Os problemas que a mobilidade impõe às redes são os mais diversos e variados que se possa imaginar. Eles vão desde a velocidade do dispositivo, passando por interferências do ambiente e localização da estação móvel, até duração da bateria desta estação. Estes e muitos outros parâmetros são fundamentais na hora de se projetar algoritmos para ambientes móveis, o que não ocorreria quando eram criados para redes fixas.

Nesse capítulo serão apresentados os conceitos de diferentes tipos de mobilidade e como esses modelos podem ajudar na predição de mobilidade e assim, melhorar diretamente a qualidade de serviço (QoS) oferecida às conexões do usuário.

6.1 - MODELO DE MOBILIDADE

O padrão IEEE 802.16e - 2005 [1] adiciona mobilidade ao padrão IEEE 802.16/2004, permitindo que as Estações Assinantes, agora nomeadas de *Mobile Station* (MS), se movimentem livremente na área de cobertura, realizando os procedimentos de *handover* entre as células. A mobilidade provoca a necessidade de uma reserva adicional de recursos para suportar a transferência de conexões ativas entre células (*handover*). Quanto maior a velocidade, maior a probabilidade de ocorrência de *handover* entre células vizinhas e, por conseguinte, maior a quantidade de recursos que devem ser reservados.

A mobilidade é uma característica fundamental para a rede do tipo móvel, pois permite que um usuário que possua uma estação móvel possa utilizar seu dispositivo e permanecer com sua conexão de rede ativa durante sua locomoção. Logo, para um bom funcionamento de uma rede sem fio é necessário conhecer os tipos de modelos de mobilidade.

Atualmente, para representar a movimentação dos nós de uma rede móvel, são usadas duas técnicas diferentes: a captura de informações do comportamento real e o uso de modelos matemáticos de mobilidade que reflitam comportamentos reais sem a necessidade de captura.

Em ambientes muito dinâmicos, capturar registros da mobilidade de todos nós de uma rede móvel pode ser uma tarefa árdua, principalmente quando se tem um grande número de nós por um longo período de tempo, ou se está lidando com informações confidenciais de posição dos nós. Além disso, essas redes ainda estão em fase de pesquisa e/ou desenvolvimento, tornando difícil obter dados em um cenário real. Por isso, os modelos de mobilidade são extremamente importantes para a representação de cenários no estudo de redes móveis.

Em suma, os modelos de mobilidade visam, portanto, representar o comportamento real de nós em uma rede móvel para que se possa, através de simulações, analisar características importantes do ambiente, assim como simular novas técnicas de *handovers*, predição de mobilidade, diminuição de QoS, algoritmo de roteamento, entre outras.

Adicionalmente é preciso definir quais modelos se adaptam melhor a cada cenário específico. Para isso, são definidas métricas apropriadas como: mudanças bruscas na direção, paradas e acelerações abruptas, e variações abruptas na velocidade detectada.

As pesquisas efetuadas na literatura certificam que os modelos mais utilizados são: o *Random Walk* e *Way Point* [9]. Esses modelos de mobilidade devem ser aprimorados para solucionar problemas encontrados nos mesmos.

O presente trabalho apresenta três modelos de mobilidade para redes sem fio e suas principais características.

6.1.1 - MODELO DE MOBILIDADE ALEATÓRIA

O modelo de mobilidade aleatória (*Random Walk Mobility Model*) designa a cada nó da rede um percurso gerado aleatoriamente, com variações, também aleatórias, nos módulos das velocidades. Por ser um modelo de simples implementação, ele é o mais utilizado na análise de protocolos de roteamento de redes *Ad Hoc* e redes móveis. Nesse modelo, o nó permanece durante um certo período de tempo parado antes de se movimentar, ou seja, há uma alternância entre repouso e movimentação. Após o término do período de repouso (parado) o nó continua a escolher um novo caminho de forma aleatória, segundo uma distribuição previamente conhecida.

Este modelo tem como característica principal sua independência temporal, ou seja, a não existência de memória. Assim, tanto o módulo quanto a direção da velocidade de um nó, num determinado instante do tempo, independe dos valores anteriores.

Este fato torna o modelo pouco realístico, devido a mudanças abruptas na direção, sentido e velocidade durante sua movimentação. Esta afirmação é ilustrada na Figura 119, que descreve um movimento com mudanças bruscas de direção, paradas brutas e acelerações instantâneas.

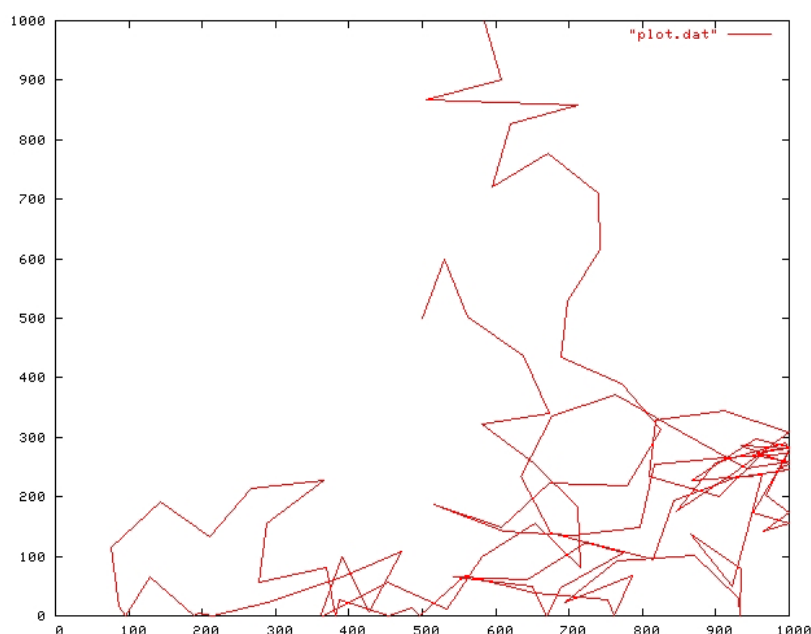


Figura 11. Modelo de Mobilidade Random Walk

Na literatura são encontradas diversas modificações deste modelo que visam torná-lo mais real sem aumentar sua complexidade de implementação. Uma abordagem, usada em [15], é simplesmente manter a aceleração valendo zero e variar apenas a direção da velocidade.

6.1.2 - MODELO DE MOBILIDADE WAYPOINT

No modelo de mobilidade *Waypoint*, a estação móvel é posicionada, a princípio, em um local escolhido aleatoriamente, segundo uma distribuição uniforme, ou seja, o nó permanece no local por um certo tempo. Ao término desse período de tempo, o nó escolhe aleatoriamente um destino, segundo distribuição uniforme e gera o percurso de um nó móvel “ligando” pontos fixos no espaço, os

waypoints. Nesse modelo, cada nó ao chegar a um destino, permanece parado por um determinado intervalo de tempo. Após o término do período de tempo, o nó se desloca a uma velocidade uniformemente distribuída no intervalo $[V_{min}, V_{max}]$, segue para outro destino *waypoint* escolhido aleatoriamente. Em suma, toda vez que um nó móvel alcança o destino, este para por um período de tempo antes de reiniciar o processo.

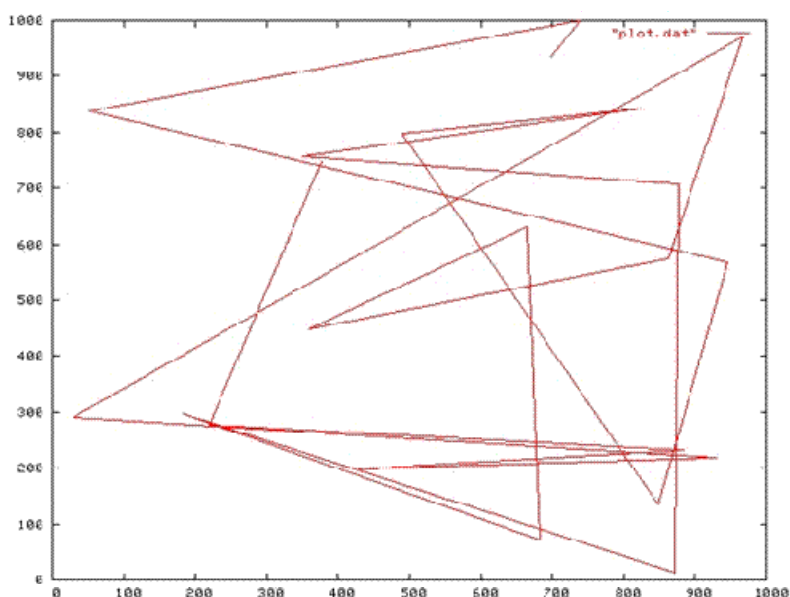


Figura 12. Modelo de Mobilidade Waypoint

O modelo também não possui memória, apresentando os mesmos problemas do modelo de mobilidade aleatória.

6.2 - PREDIÇÃO DE MOBILIDADE

Os modelos de mobilidade apresentados anteriormente possibilitam o conhecimento do trajeto de cada nó móvel e técnicas de predição de mobilidade são desenvolvidas a partir disso. As técnicas de predição de mobilidade possuem grande importância para a diminuição de problemas ocasionados pelo *handover*. Normalmente, estações móveis costumam obedecer a certo padrão de mobilidade (trajetória pode ser pré-conhecida). Usuários costumam utilizar suas estações móveis em locais e horários distintos. Um exemplo muito comum é o trajeto de casa para o trabalho. De posse desse tipo de informação, podemos definir um perfil de trajetória daquele usuário e, dessa forma, prever o próximo salto em que

a estação móvel irá se conectar. Desta forma, será possível pré-alocar recursos na próxima BS em que o usuário irá utilizar. Além disso, a perda de tempo com trocas de informações de autenticação do usuário será significativamente diminuída, pois os dados referentes à autenticação de um usuário podem ser transferidos anteriormente.

Nesse contexto, [15] apresenta alguns critérios que podem ser utilizados para a predição de mobilidade, como: Critério da Localização, Critério da Direção, Critério da Segmentação, Regra de Bytes, Critério de Tempo e Critério da Correlação.

No Critério de Localização é mantido um histórico sobre o número de vezes que cada estação base (BS) é utilizada por uma estação móvel (MS). De posse desse histórico, é possível fornecer uma distribuição de probabilidade para o próximo ponto de acesso usado pelo terminal, e qual a próxima estação base (BS) que a estação móvel (MS) irá acessar. No Critério de Direção é mantido um histórico do número de vezes que uma estação base (BS) foi usada e sua direção. Assim, basta conhecer a última estação que o usuário passou para efetuar a predição. Critério de Segmentação é uma extensão do Critério de Direção. Só que nesse caso, a seqüência exata de estações base (BSs) que a estação móvel (MS) utilizou é armazenada. Logo, se a estação móvel (MS) seguir a mesma seqüência, pode-se prever sua próxima movimentação.

Os Critérios de Localização, de Direção e Segmentação são usados quando for considerada apenas uma rota conhecida. Já na Regra de Bytes é possível traçar todas as possíveis rotas que a estação móvel (MS) poderia tomar dada a posição atual e dessa forma, torna-se possível verificar qual a estação base (BS) mais provável de ser utilizada pela estação móvel (MS) para a próxima conexão. O Critério de Tempo serve para analisar o movimento dos usuários móveis que sempre passam pelos mesmos locais em determinado horário e dia. Por fim, o Critério de Correlação caracteriza-se por associar informações de outros usuários móveis para utilizar como base de padrão de mobilidade caso este usuário não tenha nenhuma informação individual disponível. Este critério não costuma ser utilizado, pois não é confiável, uma vez que cada usuário pode ter um perfil diferente.

7 ECONOMIA DE ENERGIA

A durabilidade das baterias assim como o processo de *handover* são dois pontos críticos em redes que suportam mobilidade. Os terminais móveis portáteis possuem fonte de energia limitada. Logo, gerenciar a durabilidade da bateria é um processo extremamente delicado e crítico. Portanto, é importante a existência de mecanismos que garantam o uso eficiente de energia nas estações móveis. Em geral, a comunicação entre uma MS e a BS se dá de forma descontínua, nem sempre havendo a necessidade de troca de informações entre elas. Pensando nessa questão, o padrão IEEE 802.16e prevê que a MS possa solicitar entrar em modos de economia de energia, em períodos que não desejar estar completamente ativa na rede. E para que as MSs possam operar do modo mais eficiente, o WiMAX móvel suporta dois modos de operação em suas baterias garantindo assim a melhor utilização da energia pelos terminais móveis, que são: o *Sleep Mode* e o *Idle Mode*.

7.1 - SLEEP MODE

O *Modo Sleep* é o estado de operação no qual a MS possui períodos pré-negociados de utilização do *link* de comunicação com a BS. Estes períodos são caracterizados pela indisponibilidade da MS, do ponto de vista da BS, de tratar tráfegos de *downlink* e *uplink*. Se essa operação for aprovada pela BS, a MS recebe um dado valor ($t=x$) que define o intervalo de tempo em que pode ficar no modo *sleep*. Durante esse período a MS não é vista como participante da rede. Esse intervalo de tempo repete-se, sempre que são usadas mensagens para adaptar os canais de transmissão dos seus terminais às condições atuais da rede.

O objetivo desse modo de operação é minimizar o consumo de energia por parte da MS e reduzir o uso dos recursos por parte da BS. A execução desse modo de operação é opcional para a MS e obrigatória para a BS, pois a BS precisa entender uma solicitação para passar para esse modo emitida por alguma MS. Além disso, esse modo fornece a flexibilidade para que as MSs façam a varredura de outras BSs e coletem informações que irão ajudar no processo de *handover*. Outra vantagem desse modo de operação está na ativação de Classes de Economia de Energia, ou seja, quando a MS está em *Modo Sleep*, ela pode

ativar Classes de Economia de Energia. Existem três tipos de Classes e cada uma delas contém um grupo das conexões que têm características semelhantes.

Para o *sleep mode*, o padrão IEEE 802.16e define as seguintes mensagens:

- **MOB_SLP-REQ** é a mensagem que a MS transmite para a BS e é utilizada para solicitar a ativação das Classes de Economia de Energia tipos I, II e III. Contém a definição do tipo da nova Classe que está sendo solicitada, se do tipo I, II ou III..
- **MOB_SLP-RSP** é a mensagem que a BS transmite para a MS, em resposta à mensagem MOB_SLP-REQ ou enviada sem solicitação pela BS para ativar o modo *sleep* na estação móvel e contém definição do novo tipo de classe solicitada.
- **MOB_TRF-IND** é a mensagem que a BS transmite para a MS, utilizando broadcast ou Multicast. Esta mensagem indica se houve algum tráfego para a MS quando a mesma está no modo *sleep* (Modo de Indisponibilidade) ou seja, se a MS estiver indisponível e for avisada que há pacotes encaminhado a ela na BS, essa mensagem será positiva e ela voltará ao modo *awake* (Modo Desperto)

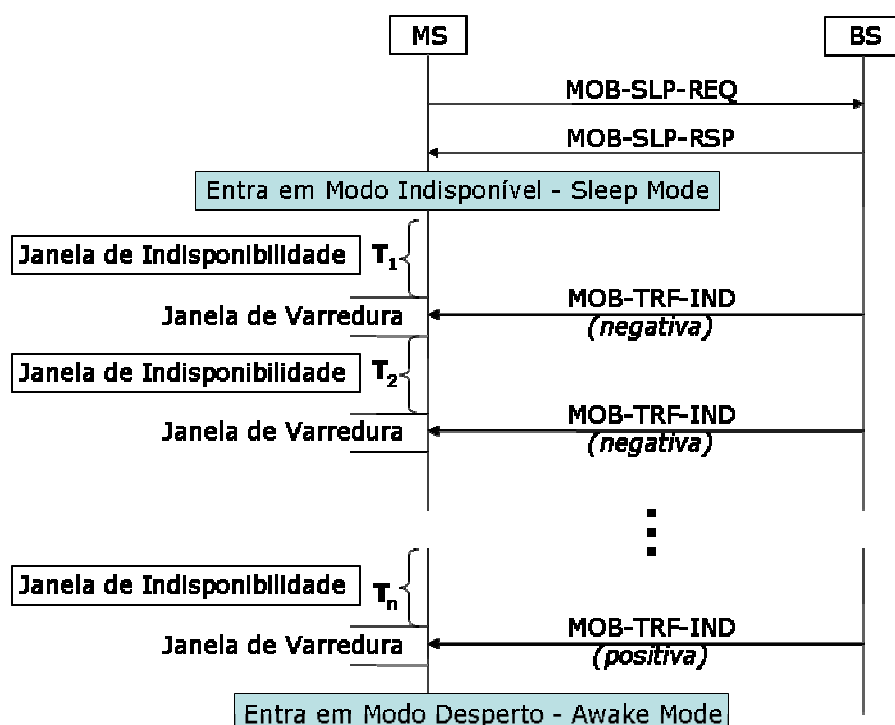


Figura 13. Modo Sleep no IEEE 802.16e

A Figura 13 mostra a seqüência de mensagens trocadas entre a BS e a MS no modo *Sleep*. Antes de entrar no modo *Sleep*, a MS envia um pedido para a BS

com a mensagem MOB-SLP-REQ solicitando migrar para modo *Sleep*. Ao receber o pedido, a BS responde com a mensagem MOB-SLP-RSP. Essa mensagem de resposta indica os parâmetros Intervalo Inicial de *Sleep* ou Janela de Indisponibilidade (*initial-sleepWindow* - Tmin), Intervalo Final de *Sleep* (*final-sleep window* - Tmax) e Intervalo de varredura (*listening window* - L). Ao receber a mensagem MOB-SLP-RSP, a MS entra em modo *Sleep*.

A duração do primeiro intervalo T1 do modo *Sleep* é igual à Janela Inicial de *Sleep* (*initial-sleep window* - Tmin). Após o primeiro intervalo de *Sleep*, a MS continua o processo de varredura (modo *listening*). Ao receber a mensagem MOB-TRF-IND da BS, verifica-se se a mensagem indica que houve tráfego dirigido a MS durante o intervalo T1 do modo de *Sleep*. Caso na mensagem MOB-TRF-IND haja uma indicação negativa quanto a existência de tráfego, a MS continua em modo *Sleep* após o intervalo L. Caso contrário, ou seja, se a mensagem MOB-TRF-IND tiver uma indicação positiva quanto a existência de tráfego, a MS voltará ao Modo de Desperto (*awake mode*).

7.1.1 - CLASSES DE ECONOMIA DE ENERGIA

Como vimos na seção anterior, quando a MS poder solicitar entrada em estado de economia de energia, Modo de Indisponibilidade (*Sleep Mode*) ou Modo de Ociosidade (*Idle Mode*). Além disso, quando a MS já está em Modo de Indisponibilidade, ela ainda pode ativar outro método disponível somente nesse modo. A MS pode ativar a utilização das Classes de Economia de Energia, com grupos de conexões que contém características semelhantes, ou seja, para cada MS envolvida, a BS mantém um ou diversos contextos associados e cada um pode estar relacionado a uma determinada classe de economia de energia. Por exemplo, em uma MS, todas as conexões BE e as conexões de NRT-VR podem ser marcadas como pertencendo a uma única classe enquanto duas conexões de UGS podem pertencer a duas classes distintas, em caso de haver intervalos diferentes entre as alocações consecutivas.

A Classe de Economia de Energia pode ser ativada e desativada repetidamente. A ativação de determinados recursos da Classe de Economia de Energia é iniciada quando a seqüência de janelas (ou intervalo) no modo de indisponibilidade (*Sleep*) e no intervalo de varredura (*listening*) é iniciada. Há três

tipos de Classes, diferenciadas por seus conjuntos de parâmetros, por procedimentos de ativação e de desativação e por políticas de disponibilidade da MS para a transmissão de dados. O intervalo de indisponibilidade é um intervalo de tempo que não pode sobrepor nenhuma janela no intervalo de varredura de nenhuma classe ativa.

Durante o intervalo de indisponibilidade (modo *Sleep*), a BS não poderá transmitir nenhum tipo de mensagem para a MS, de forma que esta possa desligar um ou mais componentes físicos ou executar outras atividades que não requerem comunicação com a BS em questão, como por exemplo, a busca por BSs vizinhas, associação com BS vizinha. Durante este período, a BS pode reter ou descartar SDUs da subcamada MAC destinadas a essa MS. Se houver uma conexão na MS, que não esteja associada a nenhuma classe ativa, ou seja, a MS não continuou a alocar nenhuma classe de economia de energia, nesse momento, a MS é considerada disponível de forma permanente. Durante o intervalo de disponibilidade (modo *Sleep*), a MS espera receber todas as transmissões *downlink* normalmente. A MS deve também examinar alterações relativas à sincronização e mudanças de configuração contidas no DL-MAP. Em caso de alterações, a MS deve continuar a recepção até receber a mensagem de atualização correspondente.

Um exemplo de comportamento da MS com duas classes de Economia de Energia é descrito na Figura 14. A classe A contém várias conexões do tipo BE e NRT-VR e a classe B contém uma única conexão do tipo UGS. Então, para a classe A, a BS aloca a seqüência de janela de varredura (*listening Window*) de tamanho constante e duas seqüências de janela de indisponibilidade (*sleep Window*). Para a classe B, a BS aloca seqüência de janela de varredura de tamanho constante e janela de indisponibilidade de tamanho constante. A MS será considerada indisponível (e capacidade de baterias baixas) dentro das janelas de indisponibilidade que são as interseções de janelas de indisponibilidade de A e de B.

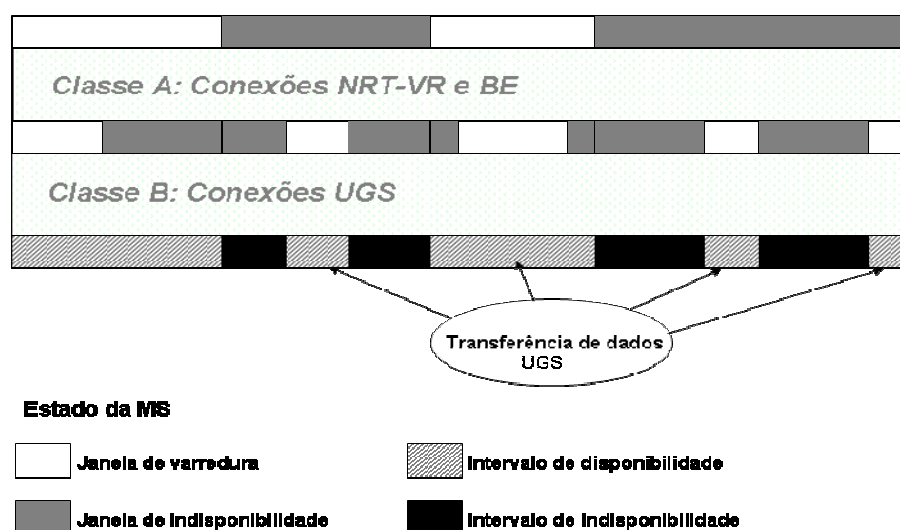


Figura 14. MS em Sleep Mode com duas Classes de Economia de Energia

A seguir, são apresentados três tipos de Classes de Economia de Energia definidos, os quais são diferenciados quanto ao conjunto de parâmetros, procedimentos de ativação/desativação e política de disponibilidade da MS para transmissão de dados.

7.1.1.1 - CLASSE DE ECONOMIA DE ENERGIA TIPO 1

Esta classe é recomendada para conexões do tipo BE e NRT-VR. Ela é definida/ativada através da mensagem MOB-SLP-REQ *Bandwidth request* (mensagem com solicitação de banda) com o *control sleep* (campo de controle do modo *Sleep*) do cabeçalho em ativo e é confirmada através de mensagem MOB-SLP-RSP. Alternativamente, o subcabeçalho DL *sleep control extended* (campo de controle para informações adicionais do modo *Sleep*) pode ser definido/ativado/desativado através de TLVs (*Type/Length/Value*), transmitidos em mensagens RNG-REQ e RNG-RSP.

A classe torna-se ativa no quadro especificado com o número de início de quadro para a primeira janela de economia. Cada janela de economia subsequente é duas vezes maior que a anterior, respeitando o limite máximo definido. Janelas de economia são separadas por janelas de varredura de tamanho fixo. Uma mensagem MOB-TRF-IND deve ser enviada pela BS durante a Janela de Varredura, pois nesses períodos, a MS se torna disponível, e a mensagem é usada para indicar o surgimento de tráfego *downlink* nas conexões

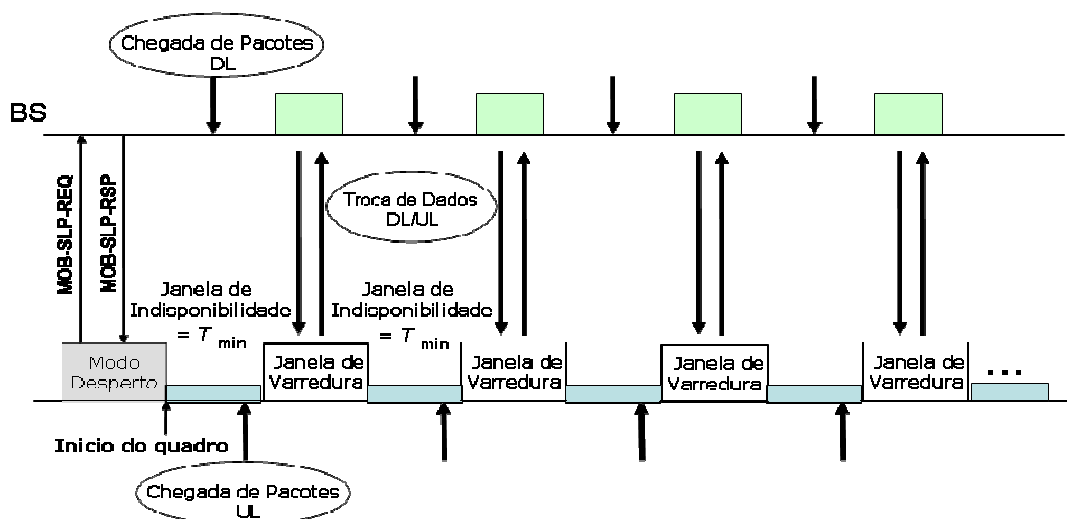


Figura 16. MS em Sleep Mode com Classe de Economia de Energia Tipo 2

A classe torna-se ativa no quadro especificado no número do Início do quadro (*Start frame*) para a primeira janela de economia. Todas as janelas de economia possuem tamanho fixo e igual à janela inicial. Janelas de indisponibilidade são intercaladas por janelas de varredura de tamanho fixo.

7.1.1.3 - CLASSE DE ECONOMIA DE ENERGIA TIPO 3

Essa classe é recomendada para conexões *multicast* e operações de gerenciamento. Pode ser definida/ativada através de mensagem MOB-SLP-REQ e confirmada através de mensagem MOB-SLP-RSP. Alternativamente, pode ser definida/ativada/desativada através de TLVs transmitidas em mensagens RNG-REQ e RNG-RSP.

Uma MS em Modo de Economia de Energia pode participar também de *ranging* periódico. Para tal, a BS pode alocar oportunidades de transmissão *uplink* durante a sua janela de varredura, possibilitando a MS realizar o procedimento. Alternativamente, a BS pode retornar a MS para o Modo de Operação Normal desativando ao menos uma das classes de economia de energia e alocando tempo no canal *uplink* para o *ranging* periódico, ou informando a MS a próxima oportunidade para *ranging* através de mensagem TLV.

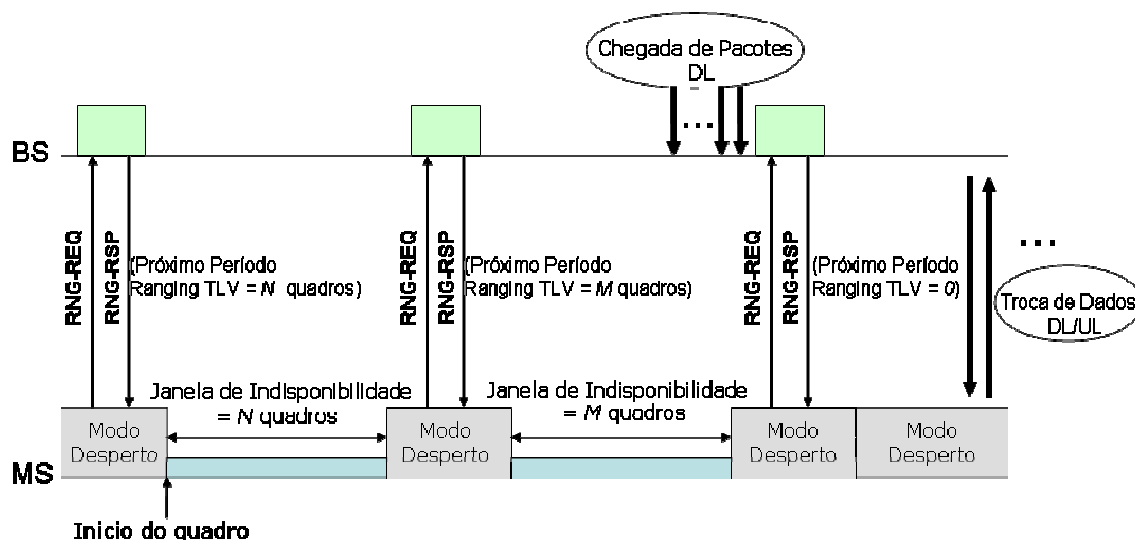


Figura 17. MS em Sleep Mode com Classe de Economia de Energia Tipo 3

Uma MS em Modo de Economia de Energia deve manter o conjunto ativo e a BS Âncora, se ao menos uma classe de economia de energia possuir o campo *Maintain Active Set and Anchor BS* BSID ativado e o campo de duração de *handover* do tipo MDHO (*Macro Diversity HandOver*) ou FBSS (*Fast Base Station Switching*) da mensagem MOB-SLP-RSP (*mobile Sleep response*) não tenha expirado. Até que ocorra a expiração, a MS pode continuar a monitorando a qualidade do sinal das BSs vizinhas e iniciar a desativação de ao menos uma classe para ativar o modo normal de operação (sem modo *Sleep* de economia de energia) e realizar o procedimento de atualização do Conjunto Ativo ou BS Âncora.

7.1.2 - RANGING PERIÓDICO EM MODO SLEEP

Uma MS em Modo de Economia de Energia pode participar também de *ranging* periódico. Para tal, a BS pode alocar oportunidades de transmissão *uplink* durante a sua janela de *listening*, possibilitando a MS realizar o procedimento. Alternativamente, a BS pode retornar a MS para o Modo de Operação Normal desativando ao menos uma das classes de economia de energia e alocando tempo no canal *uplink* para o *ranging* periódico, ou informando a MS a próxima oportunidade para *ranging* através de mensagem TLV.

7.1.3 - MANUTENÇÃO DE CONJUNTO ATIVO MDHO/FBSS EM MODO SLEEP

Uma MS em Modo de Economia de Energia deve manter o conjunto ativo e a BS Âncora se ao menos uma classe de economia de energia possuir o campo *Maintain Active Set and Anchor BS BSID* ativado e o campo de duração de *handover* do tipo MDHO/FBSS da mensagem MOB-SLP-RSP não tenha expirado. Até que ocorra a expiração, a MS pode continuar a monitorando a qualidade do sinal das BSs vizinhas e iniciar a desativação de ao menos uma classe para ativar o modo normal de operação (sem modo *sleep* de economia de energia) e realizar o procedimento de atualização do Conjunto Ativo ou BS Âncora.

7.2 - IDLE MODE

O Modo *Idle* é o estado de operação o qual permite a MS tornar-se disponível periodicamente para tráfego *broadcast* de *downlink*, sem que ocorra registro em uma BS específica. Quando uma MS não tem intenção de registrar-se em uma determinada BS, como por exemplo, quando percorre uma determinada área contendo várias BS, a rede entra em *Idle Mode*, evitando assim a ocorrência de múltiplos *handovers*. A BS apenas necessita enviar periodicamente mensagens de *broadcast* para MSs, para que a BS saiba quais MSs estão na sua área de cobertura e as MSs localizadas na sua área, quando desejam, respondem imediatamente. Portanto, esse modo de operação beneficia a MS ao eliminar a exigência de *handover*, e todas as operações normais requeridas já que a MS é capaz de captar em uma dada área geográfica com múltiplas BSs toda transmissão que ocorra. O modo de ociosidade (*Idle Mode*) permite a MS conservar energia e recursos operacionais, uma vez que a mesma só faz a varredura em determinados intervalos discretos.

O *Idle Mode* beneficia a rede e BS fornecendo um método simples para alertar a MS sobre tráfego pendente de *downlink* dirigido para ela e eliminando o *link* alocado e o tráfego de *handover* de rede de uma MS essencialmente inativa.

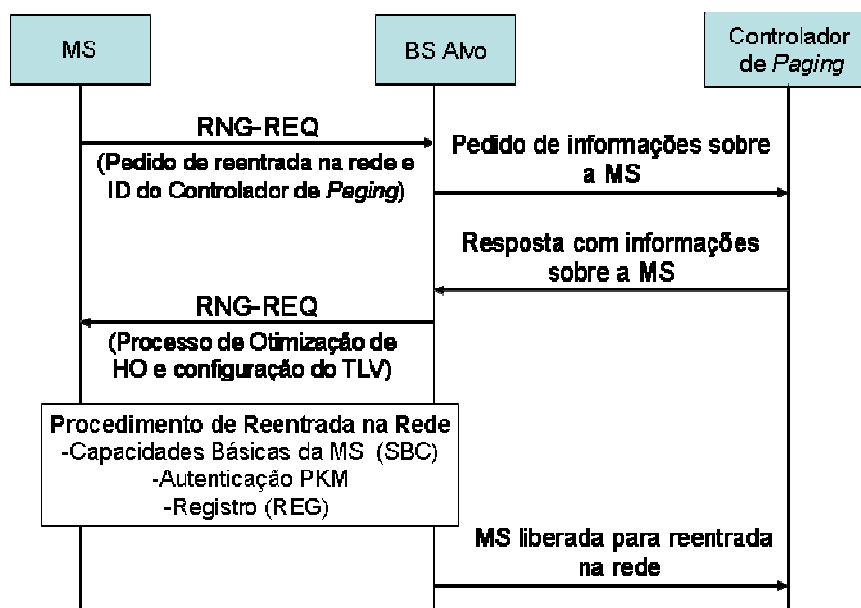


Figura 18. Processo de reentrada na rede com Idle Mode

A BS é dividida em grupos lógicos chamados *paging groups*. O propósito desses grupos é oferecer uma região de cobertura contínua na qual a MS não necessita transmitir no canal *uplink*, e ainda pode ser paginada no canal *downlink* se existir tráfego direcionado. Os *paging groups* devem ser largos o bastante de forma que a maioria das MSs possam permanecer a maior parte do tempo no mesmo *paging group*, e pequenos o suficiente de forma que a sobrecarga de paginação seja razoável.

Os *paging groups* são definidos no sistema de gerenciamento. Um método possível de definição é usando a mensagem do *backbone* da rede, *paging-group-action*. Outra mensagem do *backbone*, *paging-annouonce*, é usada para gerenciar a lista de MSs em *Idle Mode* e iniciar a paginação da MS em todas as BSs pertencentes ao grupo lógico

O *Idle Mode* é composto das seguintes atividades/estágios:

- Iniciação do estado *Idle Mode* na MS;
- Seleção de célula;
- Sincronização de tempo da mensagem *broadcast* de *Paging* de MS;
- Intervalo de indisponibilidade de *Paging* de MS;
- Intervalo de Varredura de *Paging* de MS;
- Intervalo de *Paging* de BS;
- Mensagem *broadcast* de *Paging* BS;
- Terminação de modo de *listening* de *Paging*.

8 ESTADO DA ARTE

O algoritmo de Reserva Pró-ativa de Recurso Assistida por Perfil (ARPRAP) [14] busca garantir melhor qualidade de serviço para diferentes classes de usuários em um cenário que permite a integração de redes WiMAX. Para tal, esse algoritmo faz uso do perfil do usuário em movimento para dinamicamente reservar recursos de forma pró-ativa apenas naquelas áreas previstas para o próximo *handover* da rede sem fio.

O ARPRAP procura selecionar a “melhor” BS (BS Alvo) a partir do conjunto de BSs vizinhas, baseado na trajetória do usuário móvel, nos requisitos da aplicação em execução no dispositivo móvel e nos requisitos de redes (recursos disponíveis na rede gerenciada pela BS Alvo). O algoritmo proposto acrescenta elementos para a escolha das BSs baseada nas características de utilização dos usuários (caminhos e recursos mais utilizados), tornando esta lista mais apurada e conseqüentemente, reduzindo assim, o número de mensagens trocadas. Como o *handover* do tipo FBSS compartilha o contexto MAC com as BSs do conjunto de Vizinhas, favorece o compartilhamento de contexto efetuado pelo ARPRAP.

O ARPRAP faz uso: (i) do *handover* do tipo *Fast* (FBSS), (ii) do protocolo SNMP (*Simple Network Management Protocol*) v2 [4] para o gerenciamento de recursos dos dispositivos da rede sem fio, inclusive os pré-provisionados; e (iii) da MIB proposta para o IEEE 802.16 para MAC e PHY [3].

Através do mecanismo de predição de áreas alvos usando o perfil de comportamento do usuário móvel, é obtida uma lista mais apurada de BSs a ser usada no *FAST handover*, resultando, conseqüentemente, em menos transmissões entre BSs e em um atendimento personalizado quanto ao quesito de QoS. Assim, as estações de usuários da categoria **Premium** teriam previamente alocados os fluxos de serviços de acordo com seu perfil de uso, permitindo um processo de *handover* rápido pela assertividade ao escolher a BS Alvo.

Nas subseções a seguir, são descritas as estruturas de dados e mensagens usadas pelo algoritmo, bem como o seu procedimento detalhado.

8.1 - ESTRUTURAS DE DADOS USADAS PELO ARPRAP

A **Tabela de Perfil** do usuário contém informações de perfil específicas de usuários em movimento e que estão registrados em sua rede/célula de origem (*home*) tais como: identidade do usuário, tipo do usuário (**Premium**, **Normal**), serviços acordados, ponteiro para a tabela de trajetos, ponteiro para a tabela de recursos. A Tabela de Perfil é uma estrutura armazenada na *Internet*, ficando acessível de qualquer ponto da rede.

A **Tabela de Trajetos** contém uma lista de trajetos usados por um período do dia (início da manhã, manhã, almoço, início da tarde, tarde, noite) por um usuário móvel e a sua respectiva frequência de uso. Um trajeto individual é composto por uma lista de áreas quadradas de lado “L”, por exemplo, <a1, a2, a3, a4>, e cada área é composta por várias células sobrepostas. Alguns trajetos são definidos através de acordo (SLA) entre o usuário e o provedor do serviço informando que o usuário é cliente **Premium**. Outros trajetos são inseridos na lista conforme o mesmo passa a ser utilizado pelo usuário.

Já a **Tabela de Recursos** contém uma lista de recursos, tais como a banda, usados por trajeto e por período por um usuário móvel e a respectiva frequência quanto ao uso do recurso. Alguns recursos são definidos através de um acordo (SLA) entre o usuário e o provedor do serviço informando que o usuário é cliente **Premium**. Outros recursos são inseridos na lista conforme o mesmo passa a ser utilizado pelo usuário.

Na MIB (*Management Information Base*) **wmanIfMib**, definida por [3], para o padrão IEEE 802.16, são armazenadas informações coletadas pelas MSs e BSs sobre os objetos gerenciados. Essa MIB contém três tabelas que fornecem suporte à provisão do fluxo de serviço. A tabela de Fluxos pré-provisionados, **wmanIfBsProvisionedSfTable**, contém informações sobre o fluxo de serviço pré-provisionado, usado na criação de conexões quando um usuário entra na rede. Na presente proposta, foram adicionadas a essa tabela as necessidades de recursos (fluxos de serviços) futuras de um usuário móvel baseadas no seu perfil de utilização para cada faixa de horário e trajeto. Já a tabela **wmanIfBsServiceClassTable** contém parâmetros de QoS (prioridade do tráfego, taxa de pico, latência máxima, *jitter*, atraso e etc) associados aos fluxos de serviço. Por fim, a tabela **wmanBsClassifierRuleTable** possui as regras para que

o classificador possa mapear os pacotes de *downlink* e *uplink* para o fluxo de serviço. Além dessas três tabelas, toda vez que uma estação, móvel ou não, se registra em uma BS é criada uma entrada em outra tabela, denominada ***wmanIfBsregisteredTable***, a qual é indexada por endereço MAC da estação. Assim, uma BS, com base no endereço MAC da estação, pode verificar as outras três tabelas e verificar se a MS tem fluxos pré-provisionados.

É importante destacar que a tabela ***wmanIfCmnSsChmeasurementTable*** contém dados de utilização do canal pela SS/MS e que o gerenciador de perfil, embora não faça parte do escopo desse trabalho, consulta esses dados para montar a **Tabela de Perfil**.

8.2 - DESCRIÇÃO DO ALGORITMO ARPRAP

Embora o algoritmo proposto seja genérico quanto ao número de classes de usuários, com o intuito de garantir uma descrição simplificada do mesmo, no presente trabalho serão consideradas em um acordo SLA apenas duas classes de serviços, uma para usuário ***Premium*** e outra para usuário ***Normal***. O algoritmo proposto é executado na BS Âncora e os procedimentos descritos a seguir detalham o seu funcionamento. Esses procedimentos são realizados apenas no caso da MS estar em movimento, informação essa obtida pela BS através de consultas regulares feitas ao Serviço de Localização.

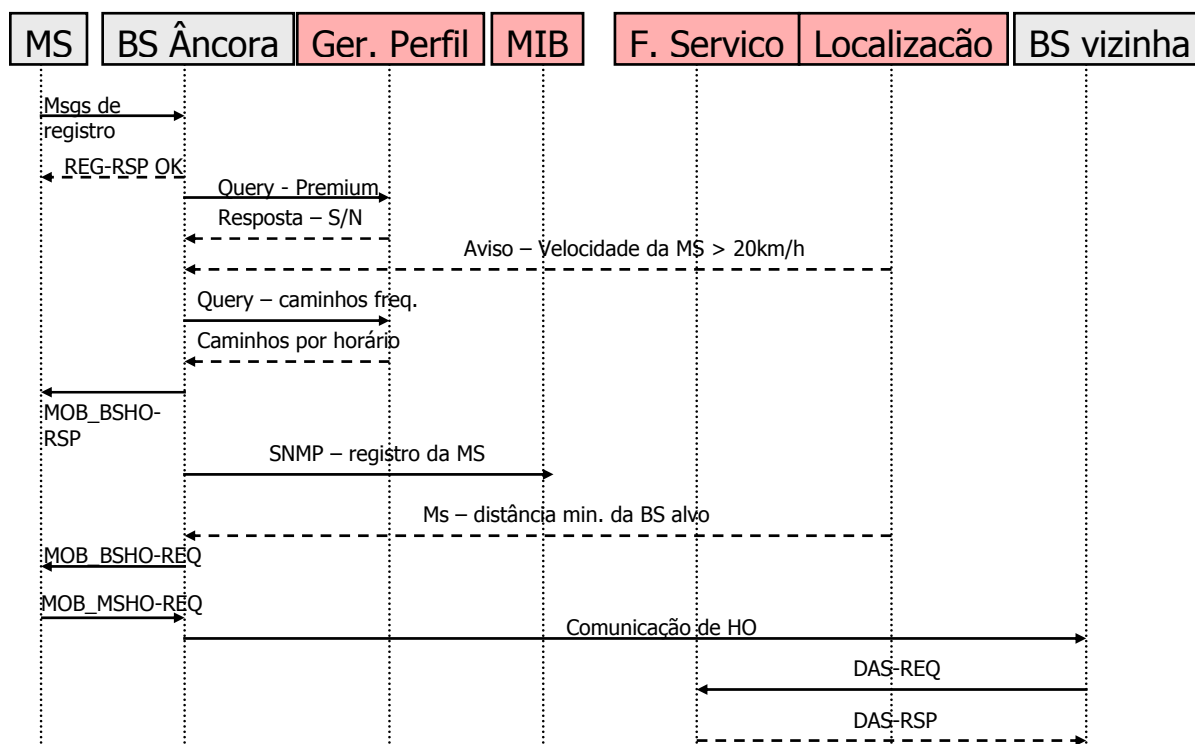


Figura 19. Diagrama de Seqüência do funcionamento do ARPRAP

A Figura 19 apresenta o diagrama de seqüência ilustrando os procedimentos, descritos a seguir:

1. Determinar se a estação móvel (MS) é do tipo cliente **Premium** ou **Normal**. Tal informação é obtida através de consulta a Tabela de Perfil do Usuário.
2. Se a MS é do tipo **Normal**, essa estação seguirá os procedimentos normais de *handover*, isto é, nenhuma reserva será feita de forma pró-ativa.
3. Se a MS é do tipo **Premium**, verificar se o usuário tem trajetos freqüentes para o horário em questão, e se nesses trajetos alguns recursos são usados comumente. Os procedimentos desse passo são descritos a seguir.
 - a. A BS Âncora verifica os trajetos usados com freqüência na faixa de horário em questão, consultando a **Tabela de Trajetos** do Usuário. Nesse trabalho é escolhido o trajeto mais utilizado nessa faixa de horário.
 - b. A BS Âncora verifica, para o trajeto selecionado, os recursos a serem usados com freqüência na faixa de horário em questão, consultando a **Tabela de Recursos do Usuário**. De posse das informações de recursos, é alterada a tabela na MIB (**wmanIfBsServiceClassTable**) que contém os parâmetros de QoS associados ao fluxo a ser provisionado. Assim, em um futuro próximo, quando o processo de *handover* for iniciado, a nova BS

Âncora ativará estes fluxos.

c. A BS Âncora atualiza a **Tabela de Fluxos** pré-provisionados (**wmanIfBsProvisionedSfTable**) de forma que a mesma contenha os fluxos que atenderão a predição de recursos obtida no passo anterior.

d. A BS Âncora busca prever para o dado trajeto a área alvo a partir da localização da MS obtida através do Serviço de Localização, e dos trajetos obtidos no passo (a). Vale ressaltar que a determinação da área alvo é obtida através da respectiva função, sendo dados a localização atual do usuário, a área atual do usuário e o trajeto mais frequentemente usado no dado período.

e. É criada uma lista das BSs contidas na área alvo prevista. Nesse passo, a BS Âncora usa as informações de MOB_NBR-ADV recebidas das BSs vizinhas, para prever quais são as melhores BSs, do ponto de vista dos requisitos de QoS, na área alvo escolhida. De posse da lista das melhores BSs, a BS Âncora escolhe a BS Alvo que melhor atende aos requisitos de QoS sugeridos pelo perfil do usuário, envia uma das mensagens, MOB_BSHO-RSP ou MOB_BSHO-REQ, sugerindo reduzir a lista de BSs à BS Alvo escolhida. Caso várias BSs atendam aos requisitos do usuário, é escolhida a que tem mais recursos disponíveis. Se houver empate, escolhe-se a primeira BS da lista que atende ao perfil. As informações dos recursos obtidas da **Tabela de Recursos** são armazenadas na **Tabela de Fluxo provisionado** e em uma cache na BS Âncora para consulta rápida posterior.

f. Deve ser repassado via *backbone* para todas BSs pertencentes a lista, o contexto da BS Âncora, incluindo informações da Tabela de Fluxos pré-provisionados,

4. A seguir, a partir de uma determinada distância da BS Alvo, valor fornecido pelo Serviço de Localização, verifica-se se a predição está correta, isto é, se o usuário móvel permaneceu na trajetória prevista até alcançar a dada distância. Em caso positivo, a BS Alvo passará a ser a nova BS Âncora. Nesse trabalho, a BS informa à MS da mudança de BS Âncora passando o tempo estimado para a troca através do envio da mensagem MOB_BSHO-REQ ou MOB_BSHO-RSP. A MS pode aceitar/rejeitar a troca de BS através da mensagem MOB_HO-IND (campo MDHOFBSS_IND_type).

5. Na nova BS Âncora, os fluxos pré-provisionados passarão a ser fluxos ativos, isto é, a nova BS Âncora alocará dinamicamente estes recursos enviando a mensagem DAS (*Dynamic Service Addition*), disponibilizando esses fluxos de serviço a MS.

8.3- MENSAGENS TROCADAS NO ARPRAP

Em uma rede sem fio WiMAX, uma MS é capaz de receber de tempos em tempos mensagens do tipo MOB_NBR_ADV, contendo a intensidade do sinal de um conjunto de BSs vizinhas que estejam na sua área de alcance e o tempo de propagação entre a MS e cada uma dessas BSs vizinhas. A MS faz uma avaliação das medidas de intensidade de sinal e de tempo de propagação recebidas e repassa para sua BS Âncora, via mensagem MOB_MSHO-REQ, um conjunto de possíveis BSs alvos. O conjunto dessas BSs é denominado de *Diversity Set* (conjunto de BS's vizinhas). Deve-se destacar também que as capacidades de cada BS integrante de um *backbone* são conhecidas pela BS Âncora, pois as mesmas são difundidas por cada uma dessas BSs via mensagem MOB_NBR_ADV. Capacidade da BS refere-se a requisitos de redes, tais como a largura de banda e o atraso, os quais dependem dos serviços de agendamento suportados - UGS, rtPS, nrtPS e ertPS.

Como mencionado, este trabalho faz uso do *handover* do tipo *Fast* (FBSS). No FBSS, a MS somente se comunica com a BS Âncora para mensagens dos canais *Uplink* (UL) e *Downlink* (DL). A troca de BS Âncora é efetuada sem invocar o HO tradicional. A MS envia a mensagem MOB_MSHO-REQ para adicionar/retirar BSs da lista (*Diversity*) ou para solicitar a troca de BS Âncora, e esta responde com MOB_BSHO-RSP. A mensagem MOB_BSHO-REQ é usada com a mesma finalidade da MOB_MSHO-REQ, só que por iniciativa da BS Âncora.

É importante salientar que, ao se usar o *handover* do tipo *Fast*, o contexto da BS Âncora é repassado periodicamente, via *backbone*, para as BSs vizinhas. Embora tal procedimento seja considerado fora do escopo da norma, no presente trabalho foi necessário criar a mensagem **BBONE_CONTEXT** para esse fim. Essa mensagem possui os seguintes campos: Tipo da mensagem de gerenciamento,

Identificador da estação base, Identificadores das estações bases vizinhas e Contexto MAC.

No algoritmo proposto, foram acrescentadas novas informações à mensagem de MOB_NBR-ADV tais como: data e hora dos trajetos usados com mais frequência, e o(s) recurso(s) usado(s) nesse(s) trajeto(s).

9 CONCLUSÃO

Um grande aumento na utilização de dispositivos de redes sem fio vem ocorrendo nos últimos anos, por isso também tem surgido um grande interesse no estudo de mobilidade devido aos problemas e desafios existentes. Um dos grandes desafios tecnológicos na área de redes sem fio é conseguir uma utilização eficiente da rede, provendo serviços com qualidade para seus usuários, principalmente em presença de *handover*. O presente trabalho buscou apresentar as possíveis soluções para lidar com tal desafio. Nesse sentido, esse trabalho se propôs a explorar os aspectos gerais de mobilidade utilizando o padrão IEEE 802.16e, descrever os aspectos de *handover*, identificar aspectos prioritários durante a implementação de redes IEEE 802.16e e estados críticos para a mobilidade, além de detalhar as principais características que devem ser atendidas para a implementação de métodos mais eficientes de suporte a *Handover* em redes WiMax. O padrão permite a transmissão de dados sem fio em banda larga por usuários móveis e atende as necessidades crescentes de aplicações de voz, dados e vídeo, e oferecendo qualidade de serviço. Seu grande diferencial está justamente na tentativa de otimizar a transmissão de dados enquanto o usuário se desloca. Esse padrão permite que suas conexões não sofram nenhuma interrupção.

A potencialidade desse padrão foi comprovada em alguns trabalhos relacionados, demonstrando que é possível apresentar propostas eficientes, desde que sejam seguidos os requisitos fundamentais na definição do método de *handover*. Foram levantados estudos sobre o mecanismo de provisão de QoS no padrão IEEE 802.16 visando suporte a mobilidade (IEEE 802.16e) com o objetivo de analisar as características da arquitetura para viabilizar uma proposta de agendamento de tráfego em redes móveis. Também fez parte desse levantamento os perfis de comportamento dos usuários em movimento para maximizar a eficiência da rede e prover melhor qualidade de serviço para diferentes classes de usuários em um cenário que permite a integração de redes sem fio de banda larga como a WiMAX.

Ao final da pesquisa são apontadas possíveis soluções de *handover* e QoS para solucionar o problema de se manter a mesma qualidade de serviço para os

usuários móveis quando eles se deslocam entre redes homogêneas, no caso redes WiMAX. Assim, esse trabalho explora os tipos de *handover*, como se comportam e quais serão suas implicações com relação à performance durante o movimento. Também foram apresentados modelos de mobilidade que permitem conhecer características inerentes ao ambiente e possibilitam a pesquisa de novas soluções para predição de mobilidade. Além disso, foram descritos os tipos de economia de energia e sua importância na utilização de uma rede móvel. Em suma, o ponto-chave dessa proposta é apresentar as características fundamentais para um bom desenvolvimento de redes IEEE 802.16e, comparar estudos anteriores [4,5,6,7,8] e propor o estudo de novas soluções que possam refinar o conjunto de células previstas para o próximo *handover*, solucionar o problema de se manter a mesma qualidade de serviço para os usuários móveis quando eles se deslocam entre redes homogêneas, no caso redes WiMAX.

Além disso, a presente monografia mostra o estado da arte do artigo [14], apresentado como complementar, já que fazem parte da mesma linha de pesquisa. Nesse artigo é proposto um algoritmo de predição de área alvo que leva em conta o perfil de comportamento do usuário, além do contexto do serviço e o da rede, para obter uma lista mais apurada de BSs a ser usada no *FAST handover*. A utilização do algoritmo resulta, conseqüentemente, em (i) um menor número de transmissões entre BSs; (ii) um atendimento personalizado quanto ao quesito de QoS; (iii) um processo de *handover* rápido pela assertividade ao escolher a BS Alvo; (iv) uma redução do número de interrupções de conexões; e (v) uma redução de perdas na qualidade referente a serviço de tempo real, como o de voz sobre IP. Uma aplicação útil de tal algoritmo seria efetuar a reserva de recursos em trajetos previamente estabelecidos, por exemplo, de serviços considerados de emergência como os efetuados dentro de ambulâncias, viaturas policiais e bombeiros.

Direções futuras do trabalho incluem investigar a integração de redes heterogêneas tanto ao nível de camada 2 como de camada 3, bem como analisar o impacto de outros parâmetros, como QoS e algoritmos de predição de mobilidade, utilizando os modelos de mobilidade apresentados com a finalidade de diminuir o impacto do *handover* em ambientes móveis.

10 REFERÊNCIAS

- [1] CHANG, CHUNG-KUO, "A Mobile-IP Based Mobility System for Wireless Metropolitan Area Networks", School of Informatics, Indiana University Purdue University, Indianapolis, 2005 IEEE.
- [2] CHOI, S., "Fast handover scheme for real-time downlink services in IEEE 802.16e BWA systems", in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference 2005 Spring, May 2005.
- [3] CHOU, J., "MAC and PHY MIB for WirelessMAN and WirelessHUMAN BS and SS". IEEE S802.16mgt-04-04. Maio 13, 2004.
- [4] HARRINGTON D., PRESUHN R., WIJNEN B. "An architecture for Describing Simple Network Management Protocol (SNMP) Management Frameworks", IETF RFC 3411, Dezembro 2002
- [5] IEEE P802.16e/D9 - 2005, "Draft IEEE standard for local and metropolitan area networks - Part 16: Air interface for fixed and mobile broadband wireless access systems," June 2005.
- [6] IEEE P802.16-REVd/D5-2004, "Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems," Maio, 2004
- [7] IEEE Std 802.11 – 1999, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications", 1999
- [8] IEEE Std 802.16 - 2004, "IEEE standard for local and metropolitan area networks - Parte 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", Outubro 2004.
- [9] SILVA, A. e MORAIS, L., "Modelo de Mobilidade para Representação de Cenários de Ambientes Fechados" em CAPES/MEC, 2004
- [10] KIM, D. e GANZ, A., "Architecture for 3G and 802.16 Wireless Networks Integration with QoS Support", Departament of Electrical and Computer Engineering, University of Massachusetts, Amherst, 2005 IEEE
- [11] LEE, D., KYAMAKYA, K. e UMONDI, J., "Fast Handover Algorithm for IEEE 80.16e Broadband Wireless Access System", School of Eletrical Engineering and Computer Science, Seoul National University, Korea, 2006 IEEE.
- [12] PANDEY, V., GHOSAL, D. e MUKHERJEE, B., "Exploiting User Profiles to Support Differentiated Services in Next-Generation Wireless Networks", Nortel Networks e University of California, IEEE Network September/October 2004
- [13] G. P. X. Hong, M. Gerla e C. Chiang, "A Group Mobility Model for Ad hoc Wireless Networks," in *Proc. of the ACM International Workshop on Modeling and Simulation of Wireless and Mobile Systems (MSWiM)*, Agosto 1999.

- [14] Jr. CARVALHO, Jaime., PIRMEZ, Luci. ; DELICATO, Flávia Coimbra ; SOUZA, Aline Macedo de; PIRES, Paulo Figueiredo . Reserva Pró-Ativa de Recursos Assistidas por Perfil para Redes WIMAX. Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC 2007), 2007, Belém. Anais do 25 Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, 2007. v. 1. p. 737-750.
- [15] CHAIN, J., ZHOU, S., e SENEVIRATNE, A. “ A QoS adaptive mobility prediction sheme for wireless networks” em Globocom, 1998.
- [16] CARVALHO, Jaime Cesar Jr. “Qualidade de serviço em redes IEEE 802.16: Como agendar tráfego para cumprir os requisitos QoS de classes heterogêneas de tráfego” Orientador: Luci Pirmez. Rio de Janeiro, 2005. Monografia. (Pós-Graduação Latu Senso) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- [17] AHSON, Syed. ILYAS, Mohammad. Wimax: standards e security. CRC Press, 2007.
- [18] ZANG, Yan. CHEN, Hsiao-Hwa. Móble WiMAX: Toward Broadband Wireless Metropolitan Área Networks. Auerbach Publication, 2007.